

ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106

# MEMORIA

---

## INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA

**Nº 20**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



# MEMORIA

*Investigaciones en Ingeniería*

ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106

**Núm. 20**

**(2021)**

---

## *Índice*

*Págs.*

**Editorial – Una gran revista**

Rafael Sotelo

**1**

**Plataforma de investigación para el confinamiento virtual de bovinos**

*Research platform for the virtual confinement of bovines*

N. Acosta, N. Barreto, P. Caitano, R. Marichal, M. Pedemonte, J. Oreggioni

**2-15**

**Aplicación de métodos cuantitativos en la programación de eventos: una aplicación en el carnaval uruguayo**

*Application of quantitative methods for the programming of artistic shows: an application in the Uruguayan carnival*

A. Cardozo, C. Guido, J.C. Machin

**16-23**

**Desarrollo y evaluación de alternativas tecnológicas para reducir el contenido de alcohol y el pH de vinos tintos**

*Development and evaluation of technological alternatives to reduce the alcohol content and the pH of red wines*

D. Piccardo, F. Zamora, G. González-Neves

**24-33**

**Creación de una criptomoneda que funcione como token de utilidad dentro de un ecosistema de empresas, permitiendo el pago de productos y servicios**

*Creating a cryptocurrency which will work as a utility token within a business ecosystem, making possible the payment of products and services*

S. Mancini, F. Scuoteguazza, L. Gurméndez, R. Sotelo, M. Bergérez, G. Álvarez

**34-43**

## Editorial – Una gran revista

Es un honor presentar la edición Número 20 de la revista Memoria de Investigaciones en Ingeniería, en mi nuevo rol de Editor en Jefe.

Esta gran revista viene siendo publicada de manera sostenida desde el año 2000.

Durante todos estos años he sido colaborador de la revista desde distintos roles. He sido autor, revisor y miembro del Consejo Editorial. He sido testigo del esfuerzo de muchas personas que, como yo, colaboraron para la gestión cotidiana y el desarrollo de la revista. Destaco especialmente la labor de mis dos antecesores en la dirección editorial, el Ing. Manuel Vega y el Dr. Ing. Martín Tanco, que han conseguido que ese esfuerzo diera los frutos que vemos hoy, y que permiten calificar a Memoria Investigaciones en Ingeniería como una gran revista.

La revista integra diversos catálogos. Se encuentra en Latindex, cumpliendo las 38 características necesarias. Integra el Directory of Open Access Journals (DOAJ). Y está incluida en el catálogo Clarivate Web of Science (WoS), ya que está indexada en el Emerging Sources Citation Index (ESCI).

Precisamente, visitando el portal de Clarivate Web of Science se puede recoger información sobre los últimos once años de la revista. Vale la pena repasar estas estadísticas para conocer el alcance que tiene Memoria Investigaciones en Ingeniería.

Entre 2010 y 2020 WoS registra 93 artículos publicados en Memoria. De estos 93 artículos, hay 54 que tienen autores de Uruguay, 26 de España, 8 de México, 7 de Argentina, 3 de Francia, 3 de Perú, 2 de Brasil, 2 de Colombia, 2 de Cuba, 2 de EEUU, uno de Chile, uno de Italia y uno de Venezuela. Las afiliaciones, según la nomenclatura de WoS, son: Univ Montevideo, University Of Navarra, University Of The Republic Uruguay, Instituto Politecnico Nacional Mexico, Univ Blas Pascal, University Ort Uruguay, Agencia Nacl Vivienda, Altra Rech Dev, Universidad Del Pacifico Peru, Universidad Nacional De Tucuman, Universidad Panamericana Ciudad De Mexico, Universidad Politecnica De Madrid, University Of Oviedo, Altra Rech Dev La Chevaucherie, Assemblock Syst, Attendis, Cent Termoelect Habana Santa Cruz Norte, Cinvestav Centro De Investigacion Y De Estudios Avanzados Del Instituto Politecnico Nacional, Cranfield Univ, Grad Univ Montevideo, Hudson Rci S De RI De Cv, Pforzheim Univ, Polytechnic University Of Catalonia, Pontificia Universidad Javeriana, Procolombia, Uncuyo, Univ Carabobo, Univ Piura, Univ Tecnol La Habana Jose Antonio Echeverria, Universidad Andres Bello, Universidad Autonoma De Baja California, Universidad Catolica Del Uruguay, Universidad De Oriente Santiago De Cuba, Universidad Esan, Universidad Michoacana De San Nicolas De Hidalgo, Universidad Politecnica De Cartagena, Universidade Federal De Mato Grosso, Universidade Federal Do Parana, Universidade Paulista, University Nacional Cuyo Mendoza, University Of Basque Country, University Of Puerto Rico, University Of The Andes Colombia.

Esta diversidad de orígenes geográficos y de instituciones de la que provienen los autores es muestra de la grandeza de esta revista y del prestigio que ha sabido ganarse en el concierto universitario nacional, regional e internacional.

Mi compromiso es continuar esta labor para seguir desarrollando Memoria en Investigaciones en Ingeniería, convirtiéndose en una revista aún más grande, con mayor diversidad y mayor visibilidad, manteniendo su calidad, para poder servir mejor a su público lector y a sus autores.

En 2021 Memoria publicará dos números anuales. Ya lo hizo en 2020 con un número regular y otro dedicado a los premios de la Academia Nacional de Ingeniería de Uruguay (ANIU). En el presente número nuevamente damos la bienvenida a trabajos premiados en ANIU, así como a artículos regulares.

Agradezco a los revisores actuantes en este número. Agradezco a la Lic. Valentina Morandi por su apoyo técnico permanente a la revista. Finalmente, presento en sociedad y agradezco especialmente al Ing. Fernando Hernández quien ha desarrollado de manera ejemplar su nuevo rol de Asistente Editorial.

Dr. Ing. Rafael Sotelo  
Editor en Jefe

**Facultad de Ingeniería  
Universidad de Montevideo**

Memoria Investigaciones en Ingeniería, núm. 20 (2021)

<https://doi.org/10.36561/ING.20.1>

ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106

# Plataforma de investigación para el confinamiento virtual de bovinos

## *Research platform for the virtual confinement of bovines*

Néstor Acosta<sup>1</sup>, Nicolás Barreto<sup>2</sup>, Pablo Caitano<sup>3</sup>, Raul Marichal<sup>4</sup>,  
Martín Pedemonte<sup>5</sup>, Julián Oreggioni<sup>6</sup>

Recibido: Febrero 2021

Aceptado: Marzo 2021

**Resumen.-** Existen varios antecedentes de alambrados virtuales que utilizan diversas técnicas para mantener confinado al ganado bovino dentro de un perímetro configurado de forma remota. Estas técnicas comparten un patrón común que consiste en colocar un dispositivo electrónico en el animal capaz de aplicar estímulos cuando éste se acerca a los límites pre-establecidos. El uso de descargas eléctricas como método de estimulación es ampliamente utilizado. En este trabajo se propone una solución compatible con el bienestar animal, que evita las descargas eléctricas, basada solamente en estímulos sonoros y táctiles (mediante un motor vibrador). Para ello, se desarrolló un sistema que comprende un dispositivo electrónico que se coloca en el cuello del animal, y es capaz de determinar su posición, estimularlo y enviar información en forma inalámbrica; un servidor central que es capaz de recibir, procesar y almacenar esa información; y una interfaz gráfica, a través de la cual se puede visualizar la posición del animal y configurar distintos parámetros para evaluar diversas metodologías de confinamiento virtual. Las pruebas realizadas en animales sugieren que los estímulos propuestos no son inocuos, por lo que se estima, podrían lograr su cometido luego de un periodo de aprendizaje de los animales. La investigación sobre la eficacia de las metodologías de confinamiento de la plataforma desarrollada será realizada en una próxima etapa por un equipo interdisciplinario.

**Palabras clave:** Alambrado virtual, confinamiento animal, seguimiento de animales, bienestar animal

*Summary.- Prior work in virtual fences has proposed different schemes to keep cattle confined within a remotely configured perimeter. These techniques share a common pattern that consists of placing an electronic device in the animal capable of applying stimuli when it approaches the pre-established limits. The use of electric shocks as a method of stimulation is widely used. This work*

---

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, ngacosta16@gmail.com , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7400-8131>

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, na.barretovalentin@gmail.com , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8891-6731>

<sup>3</sup> Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, pablocaitano5@gmail.com , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0346-5976>

<sup>4</sup> Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, rmarichal@fing.edu.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4974-0803>

<sup>5</sup> Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, mpedemon@fing.edu.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8348-0921>

<sup>6</sup> Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, juliano@fing.edu.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0164-6877>

*proposes a solution compatible with animal welfare, which avoids electric shocks, based only on sound and tactile stimuli (using a vibrating motor). For this, a system was developed consisting of an electronic device that is placed on the animal's neck, and has the capacity to stimulate and send information wirelessly; a central server that is able to receive, process and store that information; and a graphical user interface, where the animal's position can be visualized and several parameters can be configured to evaluate different virtual confinement techniques. The tests performed on animals suggest that the stimuli used is aversive, so it is estimated that they could achieve their goal after a period of training. The research on the effectiveness of the proposed confinement techniques using our platform should be carried out in a next stage by an interdisciplinary team.*

**Keywords:** *animal confinement, cattle tracking, animal welfare*

**Introducción.-** Los alambrados virtuales (AV) han sido objeto de estudio desde hace varias décadas. Su utilización para el confinamiento animal, en sustitución de las barreras físicas usadas hoy en día, puede implicar grandes beneficios para la industria ganadera [1]. Los AV se basan en la colocación de dispositivos electrónicos con GPS en los animales, que son capaces de aplicar estímulos cuando algún animal se acerca a los límites pre-establecidos. En particular, el uso de descargas eléctricas es ampliamente utilizado como método de estimulación. Este tipo de sistemas típicamente incorpora telemetría, por lo que permite monitorear a los animales y estudiar su comportamiento [2]-[3], así como también lograr la reubicación de los animales, permitiendo la aplicación de técnicas de pastoreo de precisión [4]-[7]. Asimismo, pueden proporcionar la ubicación del animal en tiempo real de manera continua, lo que permite ayudar a reducir los casos de extravío y abigeato, y a la detección temprana de enfermedades (por ejemplo, mediante el estudio patrones de movimiento). A su vez, la implantación de estos sistemas puede provocar una reducción importante en los costos de mantenimiento con respecto al alambrado tradicional físico. Incluso en casos de emergencia, como inundaciones o incendios, puede contribuir a evitar pérdidas significativas, dado que se evitan obstáculos que retengan a los animales en lugares con potencial peligro.

Si bien recientemente se han obtenido resultados alentadores que validan la eficacia de las técnicas de AV [8]-[9], la utilización de estímulos como las descargas eléctricas generan controversia e incluso se han llegado a prohibir en algunos países [10]. En este contexto, el estudio de técnicas compatibles con el bienestar animal puede brindar nuevas oportunidades para el desarrollo y posterior aplicación de esta tecnología.

El objetivo de este trabajo consiste en generar una plataforma de investigación que permita evaluar diferentes técnicas de confinamiento virtual utilizando estímulos compatibles con el bienestar animal. En este sentido, se decidió comenzar usando estímulos sonoros y táctiles (vibracionales).

Este trabajo es una versión actualizada y traducida al español de un trabajo previo de los autores [11] asociado a una tesis de grado [12] de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la República. El proyecto actualmente está siendo comercializado por la empresa Catel [13] y se enmarca dentro de una línea de investigación activa entre grupos de las Facultades de Ingeniería y de Veterinaria de la Universidad de la República.

**1. Solución propuesta.-** La Fig. I muestra un esquema de la plataforma propuesta. El núcleo de nuestra plataforma de cercas virtuales es un dispositivo electrónico colocado en los animales llamado nodo sensor (NS). El NS se basa en un microcontrolador de bajo consumo de energía con los siguientes requerimientos de diseño:

- La estimulación generada por el NS debe ser compatible con el bienestar animal (por ejemplo, estímulos sonoros y táctiles/vibratorios).
- Debe poder determinar su ubicación geográfica en tiempo real con una precisión de 5 m.
- Debe comunicarse de forma inalámbrica con un servidor central mediante un protocolo de largo alcance y bajo consumo de energía. Dado que el perímetro virtual debe ser configurable desde el servidor central, la comunicación debe ser bidireccional y tener un alcance mínimo de 5 km.
- Se busca que el NS tenga un área menor a 225 cm<sup>2</sup>, una autonomía mínima de 7 días y una frecuencia de muestreo de la ubicación de al menos 1 Hz.

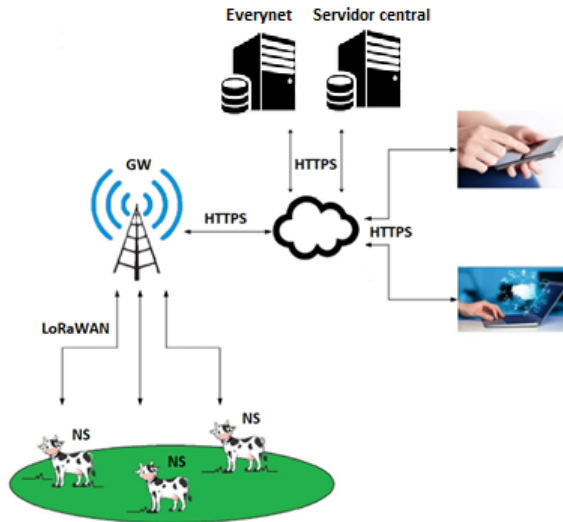


Figura 1 – Arquitectura del sistema propuesto.

Dados los requerimientos de consumo y alcance, se definió utilizar la tecnología LoRa para la transmisión de datos y LoRaWAN como protocolo de red. Este protocolo establece una topología de red en estrella, definiendo tres clases de dispositivos (A, B y C) para la comunicación entre múltiples nodos y un gateway (GW, por su sigla en inglés). Los dispositivos clase A soportan comunicación bidireccional y pueden enviar mensajes en cualquier momento, mientras que la recepción sólo podrá ocurrir luego del envío de un mensaje. Los dispositivos clase B y C, son extensiones de la clase A, que ofrecen periodos de recepción más amplios, a costa de un mayor consumo. Dadas las características buscadas para el dispositivo se optó por trabajar con la clase A. Se implementó el protocolo LoRaWAN utilizando la biblioteca IBM LMIC [14], que se describe en Sección II-B. Esto requiere que el microcontrolador del NS deba tener una memoria de programa superior a 32 kB.

La arquitectura de nuestra solución contempla que el sistema se utilice simultáneamente en varios animales. Por lo tanto, la red de NS se comunica con el servidor central a través de uno o varios gateways. Los gateways se comunican con el servidor central utilizando la plataforma de Everynet. El servidor central proporciona los servicios de backend para almacenar la información en una base de datos gestionando la comunicación con los NS. También proporciona una interfaz gráfica de usuario (frontend) para visualizar los NS en un mapa y configurar los diferentes parámetros de la plataforma.

**1.1. Hardware.-** El sistema embebido fue diseñado usando la placa de desarrollo Moteino basada en Arduino. Esta placa incluye un microcontrolador ATmega 1284P y una radio RFM95 para comunicación. Además, se incorporó un módulo GPS, un buzzer, un motor DC (vibrador) y un sistema de gestión de energía. La Fig. II presenta el diagrama de bloques del NS.

El microcontrolador ATmega 1284P de la familia AVR de Microchip presenta un consumo de 400  $\mu$ A en “Active Mode” a 1 MHz y 0.1  $\mu$ A en “Power-down Mode”. Funciona con un bus de datos de 8 bits, tiene 128 kB de memoria Flash, 4 kB de EEPROM y 16 kB de memoria SRAM. Además, incluye hasta 32 pines de entrada/salida.

Para determinar la ubicación del NS se escogió el módulo GPS NEO-M8N del fabricante u-blox. Los mismos tienen una precisión de 2.5 m en condiciones óptimas y una frecuencia de muestreo máxima de 10 Hz.

Se optó por un módulo de comunicación RFM95, basado en el chip SX1276 de Semtech, el cual utiliza LoRa. Este módulo tiene un consumo de 10 mA y 120 mA en recepción y transmisión respectivamente, y puede alcanzar sensibilidades de hasta -148 dBm usando un cristal de bajo costo.

El sistema embebido cuenta con dos mecanismos diferentes de estimulación, basados en sonido y vibraciones. El estímulo sonoro se implementa mediante un buzzer pasivo. El microcontrolador puede modificar la frecuencia del buzzer variando la frecuencia de una señal auxiliar (hasta 10 kHz). Además, se utiliza una señal PWM para generar diferentes niveles de voltaje en su fuente de alimentación con el fin de modificar su volumen (que puede superar los 100 dBA). Por otro lado, el estímulo vibratorio se genera con un motor R260 de corriente continua, con una velocidad de hasta 3000 rpm y un peso de 30 gramos.

El sistema de energía está compuesto por un panel solar rígido de 4,5 V y 0,5 W conectados en serie con dos paneles solares flexibles de 2 V y 0,5 W, una batería Li-Ion 18650 de capacidad 3400 mAh y tensión nominal 3,7 V, y un cargador de batería Li-Ion lineal TP4056 con una corriente máxima de 500 mA.

El gateway elegido fue un Everynet Network Gateway v2.0, compatible con LoRaWAN. Dicho gateway tiene un GPS integrado y se puede conectar a Internet utilizando una red de datos móviles 3G o Ethernet. Es alimentado por el puerto Ethernet (PoE, Power over Ethernet), y tiene una batería de respaldo integrada. El mismo cuenta con un rango nominal de más de 15 km con línea vista y de hasta 2 km en zonas urbanas densamente pobladas.

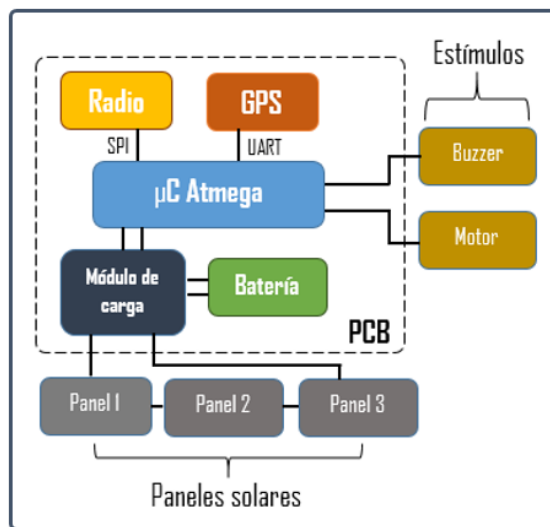


Figura II – Diagrama de bloques del SN.

**1.2. Software Embebido.-** El software embebido del NS fue desarrollado en C ++, usando funciones de Arduino. La implementación está fuertemente basada en la biblioteca LMiC [14]. LMiC es una implementación en lenguaje C de la especificación de la capa de control de acceso al medio del protocolo LoRa. La biblioteca utiliza un modelo de programación basada en eventos, donde el código de la aplicación es ejecutado por tareas, que son activadas por eventos y se gestionan mediante funciones de la biblioteca. LMiC incluye controladores para la radio Semtech SX1276, y también una capa de abstracción de hardware, que ayuda a utilizarlo con otros módulos de radio. En particular, se utilizó la biblioteca implementada por M. Kooijman [15] para incorporar la radio RFM95 con la biblioteca LMiC en el entorno de Arduino.



En la Fig. III se puede observar el flujo del software embebido. En primer lugar, se adquieren la posición (latitud y longitud), y la fecha y hora. Luego se calcula la distancia hacia cada uno de los laterales del perímetro virtual y se determina si se encuentra dentro o fuera del mismo. Esto se realiza mediante el algoritmo “Ray Casting” [16]. En base a esta información el sistema decide entre dos modos de funcionamiento: Modo de Estimulación y Modo de Transmisión de Datos (bajo consumo).

Cuando el NS se encuentra lejos del perímetro virtual se entra en el Modo de Transmisión de Datos. En este modo se transmite el mensaje correspondiente, y de acuerdo al funcionamiento del protocolo LoRa clase A, se abren dos ventanas de tiempo (uno y dos segundos luego de la transmisión, respectivamente) para habilitar la recepción de mensajes desde el servidor central. En caso de no recibir datos, el microcontrolador, la radio y el GPS pasan a un estado de bajo consumo durante un tiempo configurable.

El esquema del perímetro virtual consta de dos zonas de estimulación diferentes con un ancho configurable: la zona F1, donde sólo el buzzer está funcionando, y la zona F2, donde el buzzer y el vibrador están activados (ver Fig. IV). Cuando el NS está cerca del perímetro virtual, el dispositivo entra en el Modo de Estimulación y el animal es estimulado usando uno o ambos mecanismos dependiendo de la zona en la que se encuentre. En este modo, los datos del GPS se adquieren con la máxima frecuencia y se inhabilita la comunicación para aumentar la velocidad de respuesta del dispositivo a los movimientos del animal.

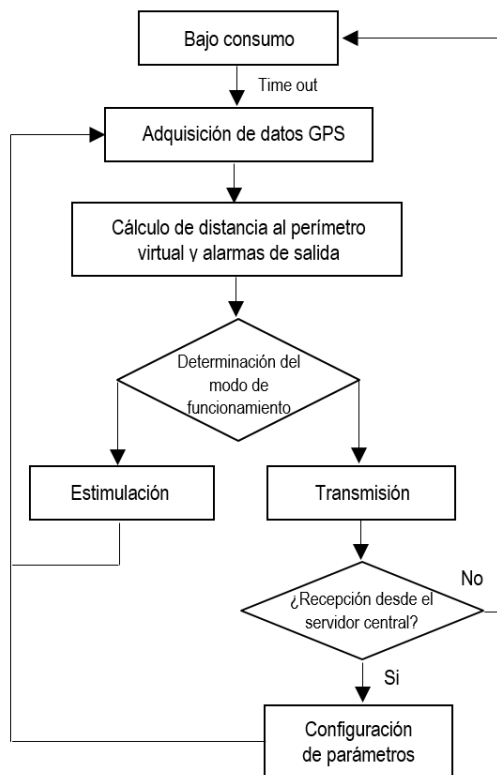


Figura III.- Diagrama de flujo simplificado del firmware del NS

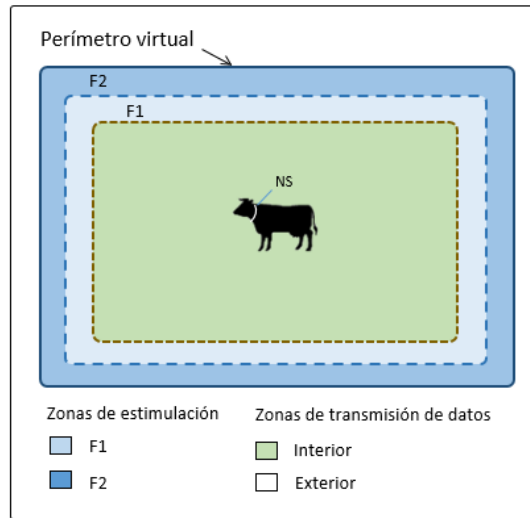


Figura IV – Zonas del Perímetro Virtual

**1.3. Software.-** Para simplificar la interacción entre el usuario y los dispositivos, se desarrolló una aplicación web alojada en la nube. El sistema sigue la arquitectura sugerida por EveryNet (ver Fig. 1) y está dividido en tres partes principales: frontend, backend y base de datos (ver Fig. V). Los NS envían información periódicamente al gateway, que luego se carga en la plataforma Everynet a través del protocolo HTTPS. Esta plataforma tiene una API a la que se puede acceder a través de un servicio web.

El backend consume la API de datos expuesta por Everynet utilizando una interfaz de transmisión bidireccional basada en WebSockets, diseñado para el intercambio de mensajes entre el servidor de EveryNet y nuestra aplicación. De esta forma, el backend periódicamente recibe datos de los NS (uplinks) y los almacena en la base de datos. El backend también puede enviar al servidor de EveryNet comandos de configuración para los dispositivos, recibidos previamente desde el frontend (downlink).

El frontend proporciona una interfaz de usuario para rastrear y configurar cada NS. Se comunica con el backend para obtener información de los dispositivos (ubicación, configuración, etc.) y enviar nuevas configuraciones. También consume la API de Google Maps para crear perímetros (cercas virtuales) y mostrar las ubicaciones actuales e históricas en un mapa. La interfaz de usuario se muestra en la Fig. VI.

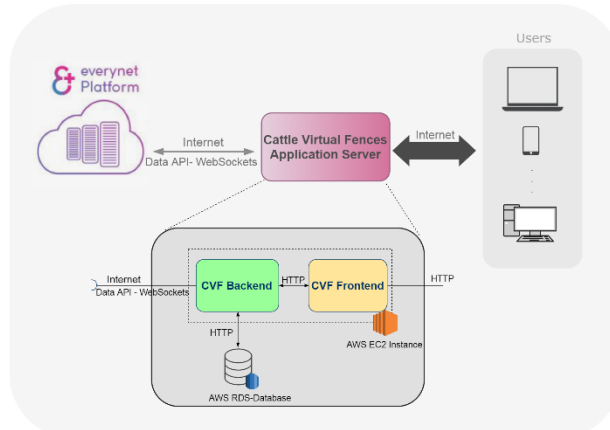


Figura V. Arquitectura del servidor de aplicaciones

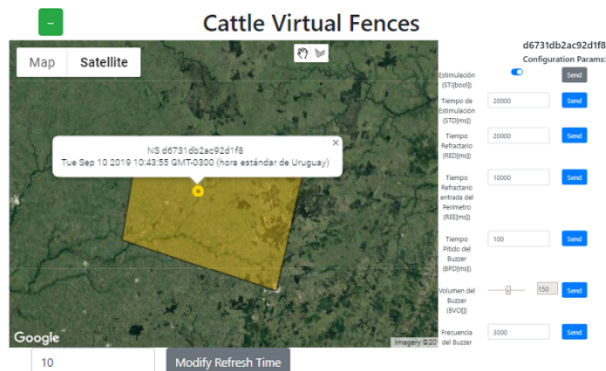


Figura VI. Ubicación de un NS y su perímetro virtual configurado en la interfaz de usuario.

Las principales funcionalidades de la aplicación son:

- Alta y baja de cercas virtuales para cada NS.
- Configuración de parámetros para cada NS: perímetro virtual, ancho de las zonas de estimulación, período de muestreo en el modo de transmisión de datos, tiempo de estimulación, frecuencia y volumen de estímulo sonoro.
- Muestra la ubicación actual de cada NS.
- Muestra la ubicación histórica de cada NS.

**1.4. Fabricación.-** Los NS deben sujetarse al cuerpo del animal para ser capaces de informar su ubicación continuamente. Se tuvo especial cuidado en algunos aspectos del diseño del dispositivo como ser el tamaño, peso y método de sujeción, para no causar daño a los animales. Por esta razón, se fabricó un collar con cinta mochila y hebillas de plástico, que se puede ajustar usando un velcro, como se puede ver en la Fig. VII. El rango de ajuste es de 70 a 90 cm. La cinta mochila es lo suficientemente flexible para sujetarse al cuello del animal y también se puede perforar fácilmente, lo que simplificó su costura.

En la etapa de diseño, se decidió separar el motor vibrador del bloque principal (ver Fig. 7). Debido a esto, fue necesario diseñar dos contenedores diferentes, uno para el bloque principal (que incluye el microcontrolador, GPS, radio LoRa, buzzer, baterías y panel solar) y otro para el motor. También

incluimos un mecanismo de contrapeso en el collar para asegurar que los paneles solares estén siempre orientados hacia el sol.

El diseño de los encapsulados se realizó con el software Tinkercad de Autocad. Para su impresión se optó por trabajar con PLA (ácido poliláctico) por ser un material resistente, económico y de naturaleza biodegradable. Las piezas impresas fueron pulidas para mejorar su acabado y permitir una mejor colocación de los componentes en su interior. Se rellenaron los orificios de entrada de los cables con silicona para evitar el ingreso de agua.

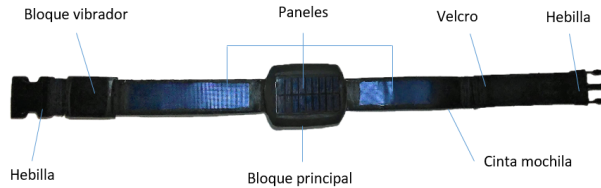


Figura VII. Prototipo final del NS. Se indican en la figura el bloque principal, el bloque vibrador, los paneles solares, hebillas y velcro de sujeción.

**2. Resultados.-** En esta sección se presentan y analizan los resultados experimentales del prototipo del sistema de cercas virtuales para ganado bovino diseñado en este trabajo. En particular, se analizan varias características importantes de la plataforma, incluyendo el consumo de corriente, la autonomía y su rango de comunicación.

**2.1. Consumo.-** El consumo individual de cada componente se obtuvo con el medidor de corriente Otii Standard de Qoitech. En la Fig. VIII se presenta el perfil de consumo en el Modo de Transmisión de Datos (bajo consumo). En base a estas medidas experimentales se calcularon los ciclos de trabajo de cada componente (que es el % del tiempo que el componente está activo, el resto del tiempo está apagado o en un estado de bajo consumo de energía), para evaluar el tiempo que cada uno de ellos está operativo (ver Tabla I). Finalmente se determinó el consumo promedio del dispositivo bajo el supuesto de que estaría un 80% del tiempo funcionando en el modo de transmisión de datos (bajo consumo), llegando a un valor de consumo promedio de 28.1 mA.

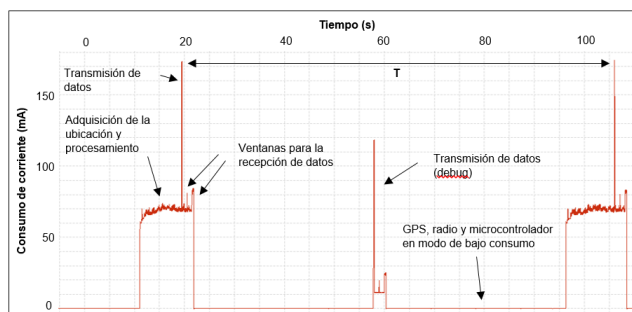


Figura VIII. Perfil de consumo del NS, en el modo de bajo consumo. Entre transmisiones de datos se ve una transmisión de datos para control y debug.

Componente	Consumo	Ciclo de trabajo
Atmega 1284p	11 mA	36 %
Radio RFM95 stand-by	2 mA	36 %
Radio RFM95 TX	120 mA	0.09 %
Radio RFM95 RX	10 mA	0.27 %
GPS NEO M8N	57 mA	32.8 %
Buzzer	47 mA	2.5 %
Motor	540 mA	0.625 %

Tabla I. Consumo promedio de componentes.

**2.2. Autonomía.-** Se considerará ahora la autonomía del dispositivo. Con un consumo promedio de 28,1 mA, se requieren 674,4 mAh diarios. Por tanto, utilizando una batería de 3,4 Ah, la autonomía del equipo es de 5,1 días en ausencia total de luz solar.

La corriente entregada por los paneles solares se midió con un Multímetro DT9208L. Se obtuvo un valor promedio de 100 mA con valores pico de 120 mA, con un voltaje constante de 4,2 V, proporcionado por el módulo de carga TP4056. Se concluye que los paneles seleccionados son capaces de cosechar 100 mAh por hora de luz solar. Como consecuencia, se necesitan aproximadamente 7 horas de sol diarios para cubrir los 674,4 mAh requeridos. Esto es factible de alcanzar casi todo el año en Uruguay, salvo en invierno. Si se considera un peor caso (invierno), donde se obtienen en promedio 3 horas de sol al día, la autonomía llegaría a los 10 días.

**2.3. Alcance.-** Se realizaron dos pruebas diferentes para analizar el rango de comunicación entre el NS y el gateway. Primero, se llevó a cabo un experimento con línea vista en un entorno urbano. Los resultados experimentales muestran que la comunicación tiene un rango de al menos 9 km. En el segundo experimento, el gateway fue instalado en el techo de un galpón de granja. En este caso, hubo obstáculos (principalmente grupos de árboles y construcciones) entre el NS y el gateway, y la distancia máxima de comunicación alcanzada fue de 1,6 km. En ambos casos se utilizó un spreading factor de 7. Los resultados se presentan en la Tabla II.

Área	Altura GW	Alcance	Medio
Rural	4 m	1.6 km	con obstáculos
Urbano	35 m	9 km	línea vista

Tabla II. Pruebas de alcance.

**2.4. Funcionalidad.-** Se continúa el análisis con los experimentos realizados para probar el comportamiento del sistema para diferentes variables de interés del perímetro virtual. En estos experimentos, se seleccionaron cuatro puntos en el mapa formando un cuadrilátero convexo, y las coordenadas de estos puntos se configuraron como el perímetro virtual del NS. Luego, el NS se movió a lo largo del área del perímetro virtual, registrando los datos de relevancia (ubicación actual, fecha, hora y disparadores de estimulación).

En todas las pruebas realizadas se corroboró que los estímulos fueran activados de acuerdo con la ubicación del NS respecto al perímetro virtual, y los parámetros previamente configurados, verificando el correcto funcionamiento de todo el sistema.

**2.5. Pruebas preliminares en ganado bovino.-** Finalmente, se realizaron pruebas preliminares en bovinos (ver Fig. IX) usando diferentes versiones del dispositivo en cada etapa del desarrollo, probando varios aspectos de la solución propuesta. En estos experimentos, se colocó el collar durante algunas horas en bovinos, verificando la facilidad de instalación y que todos los componentes se mantuvieron en su lugar.

También se realizó una validación funcional primaria observando las primeras reacciones de los animales. Se encontró que los materiales usados no producen ningún daño a los animales y no provocan molestias que afecten su comportamiento habitual.

Si bien el comportamiento observado varió con los distintos animales y las características de su entorno, se constató que gran parte de ellos no reaccionó al estímulo sonoro (buzzer). Sin embargo, se visualizó una reacción significativa al estímulo táctil (motor vibrador), en muchos casos causando su desplazamiento en el sentido deseado (hacia el interior del perímetro virtual) sin entrenamiento previo.

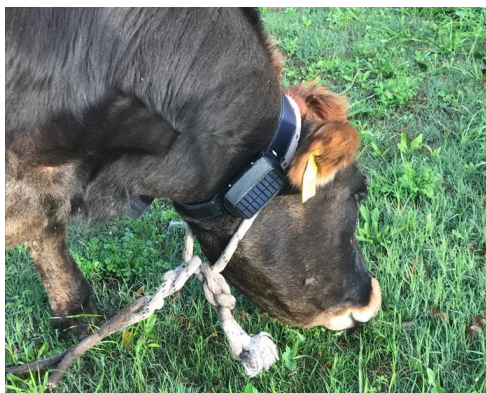


Figura IX. Bovino pastando con el collar diseñado.

**2.6. Resumen de especificaciones.-** En la Tabla III se presentan las principales características de la plataforma desarrollada. La precisión en la ubicación surge de la hoja de datos del GPS. El máximo período de muestreo se da cuando el NS se encuentra dentro de las franjas de estimulación, mientras que el típico surge del intervalo de tiempo que se seleccionó para transmitir (32 segundos), la adquisición del GPS y su procesamiento, y los tiempos correspondientes al protocolo de comunicación. El tiempo de respuesta representa el tiempo típico de demora entre que se cambia un parámetro de configuración en el servidor central, y toma efecto en el NS.

Especificación	Descripción
Precisión (en ubicación)	2.5 m
Período de muestreo	Mín: 1 segundo; Typ: 40 segundos
Alcance	9 km
Protocolo de comunicación	LoRa - Clase A (915 MHz)
Consumo de corriente	28.1 mA
Autonomía	5 días sin presencia de sol 10 días con 3 PSH Sin limitaciones con 7 PSH
Estímulos	Sonoro (buzzer) y táctil (vibrador)
Peso	0.8 Kg
Tamaño	Máx: 90 x 9.4 x 4.5 cm
Tiempo de respuesta (config. de parámetros)	Típico: 1 minuto

Tabla III. Resumen de especificaciones.

**3. Discusión.-** Si bien la autonomía del dispositivo es adecuada para una plataforma de investigación, podría resultar insuficiente para un producto comercial. En este aspecto, debe considerarse que tanto la estimación de consumo como la de energía cosechada que se realizó fueron conservadoras. Por otra parte, se espera que el dispositivo reduzca su consumo con el

transcurso del tiempo, si se logra que el animal aprenda, mediante entrenamiento, a evitar los estímulos, permaneciendo más tiempo en la zona de menor consumo.

Puede verse en la Fig. X que el cuello de botella del consumo es el GPS. Por lo que, aumentar el tiempo que está apagado el NS (y en particular que lo está el GPS) en el modo de bajo consumo sería una mejora significativa. Por tanto, si fuese necesario aumentar la autonomía, debería considerarse aumentar la cantidad de paneles solares o utilizar un GPS que consuma menos.

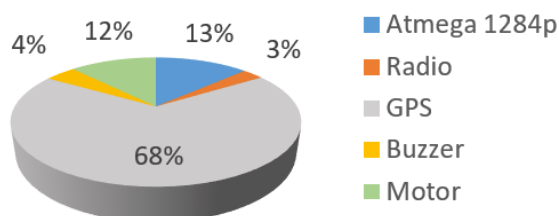


Figura X. Distribución del consumo del NS.

En cuanto al alcance, todavía falta realizar pruebas exhaustivas de la máxima distancia alcanzable de comunicación entre los NS y el gateway. Las pruebas realizadas en entornos rurales, llegaron a cubrir 1,6 km. Se cree que el resultado de esta prueba estuvo condicionado en gran medida por los obstáculos presentes, debido a que no se logró demasiada altura en la colocación del gateway. Sin embargo, se logró un alcance de 9 km en un entorno urbano con línea vista, por lo que se espera obtener resultados similares en un entorno rural, mejorando la instalación del gateway.

La plataforma permite visualizar de manera remota la ubicación de los NS y acceder al historial de sus últimos movimientos. Con este sistema, se pueden evaluar distintos esquemas de estimulación, determinando su desempeño en función de la cantidad de tiempo que se logra mantener confinado al animal en el perímetro establecido. Se destaca que se visualizó una reacción significativa al estímulo táctil. Se especula entonces con la hipótesis de que luego de un periodo de aprendizaje, los animales puedan moverse en una dirección predefinida, de modo tal que eviten el estímulo táctil, al escuchar primero el estímulo sonoro.

Respecto al confinamiento virtual de ganado, hay mucho trabajo por delante en materia de investigación interdisciplinaria. Este deberá incluir pruebas que validen la eficacia de las técnicas de confinamiento, teniendo en cuenta el bienestar animal y su productividad. En particular será necesario determinar el nivel de estrés que le generan al animal los estímulos, y el eventual impacto en la producción de carne o leche. Es una tendencia mundial la necesidad de utilizar estímulos que sean compatibles con el bienestar animal. Por esta razón, la plataforma propuesta cuenta con estímulos sonoros y táctiles, lo que la distingue de otras soluciones.

**4. Conclusiones.-** En este trabajo se presentó el diseño y fabricación de una plataforma para el confinamiento virtual de animales basado en estímulos sonoros y táctiles, lo que lo hace compatible con el bienestar animal.

El aporte principal de este trabajo fue crear una plataforma para la investigación de técnicas de confinamiento virtual de animales. Esta plataforma permite al investigador modificar varios parámetros de interés incluyendo el tamaño y ubicación del perímetro virtual, las zonas de estimulación, y los principales parámetros del generador de estímulos.

Las pruebas realizadas en animales, sugieren que el estímulo táctil no es inocuo, por lo que se cree, que la interacción del estímulo sonoro en conjunción con el táctil podría lograr el cometido de mantener confinado al animal, luego de un periodo de aprendizaje. La investigación sobre la eficacia de metodologías de confinamiento basadas en esta plataforma deberá ser realizada en una próxima etapa por un equipo interdisciplinario.

Si se lograra encontrar un método efectivo de confinamiento virtual para ganado, son muchos los beneficios que podrán obtener los productores rurales. Entre ellos se destacan el pastoreo de precisión, la disminución tanto de la cantidad de alambrados internos como de la inversión en mantenimiento y la posibilidad de transportar el ganado sin intervención directa.

**5. Agradecimientos.** –Este proyecto fue apoyado por la Agencia Nacional de Innovación e Investigación (ANII), Fundación Julio Ricaldoni, el capítulo uruguayo de Circuitos y Sistemas IEEE, y PEDECIBA Informática. Los autores quisieran agradecer a TeLIoT por el soporte técnico brindado y préstamo de un gateway, a Facultad de Veterinaria (Udelar) y Dayanara Bonilla, por permitirnos el uso de sus instalaciones y ganado, y ofrecer asistencia en la realización del trabajo experimental.



## 6. Referencias

- [1] C. Umstatter, "Review: The evolution of virtual fences: A review," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 75, no. 1, pp. 10–22, Jan. 2011.
- [2] R. E. Marsh, "Fenceless animal control system using GPS location information," Feb. 9 1999, US Patent 5,868,100.
- [3] A. Llaría, G. Terrasson, H. Arregui, and A. Hacala, "Geolocation and monitoring platform for extensive farming in mountain pastures," in *IEEE Intl. Conf. on Industrial Technology (ICIT)*, Mar 2015, pp. 2420–2425.
- [4] S. J. Giunta, "Wireless fencing system," Dec. 28 2010, US Patent 7,856,947.
- [5] Z. Butler, P. Corke, R. Peterson, and D. Rus, "Virtual fences for controlling cows," in *IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 2004, no. 5, 2004, pp. 4429–4436.
- [6] —, "From robots to animals: Virtual fences for controlling cattle," *Intl. Journal of Robotics Research*, vol. 25, no. 5-6, pp. 485–508, 2006.
- [7] G. Bishop-Hurley, D. Swain, D. Anderson, P. Sikka, C. Crossman, and P. Corke, "Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 56, no. 1, pp. 14–22, 2007.
- [8] D. Campbell, J. Lea, W. Farrer, S. Haynes, and C. Lee, "Tech-savvy beef cattle? how heifers respond to moving virtual fence lines," *Animals*, vol. 7, no. 9, 2017.
- [9] D. Campbell, J. Lea, S. Haynes, W. Farrer, C. Leigh-Lancaster, and C. Lee, "Virtual fencing of cattle using an automated collar in a feed attractant trial," *App. Animal Behaviour Sc.*, vol. 200, pp. 71–77, 2018.
- [10] I. Ferrer, "Holanda prohíbe el uso de collares electricos para perros (in spanish)," *Diaro El País*, 6/4/2019, disponible en línea, consultado 23/2/2021. [https://elpais.com/elpais/2019/04/06/mundo\\_animal/1554560388\\_687751.html](https://elpais.com/elpais/2019/04/06/mundo_animal/1554560388_687751.html)
- [11] N. Acosta, N. Barreto, P. Caitano, R. Marichal, M. Pedemonte, J. Oreggioni, "Research platform for cattle virtual fences", *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pags. 797-802, Buenos Aires, Argentina, 26-28 Feb, 2020.
- [12] N. Acosta, N. Barreto, P. Caitano, "Plataforma de geolocalización e investigación en confinamiento virtual de bovinos", tesis de grado, IIE, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (Uruguay), 2019.
- [13] Catel, "Cercas virtuales: hacia un futuro sin límites", disponible en línea, consultado 23/2/2021, <http://catel.uy>,
- [14] IBM, LoRaWAN in C (LMiC) Technical Specification v 1.5, Mayo 2015.
- [15] M. Kooijman, "Arduino-lmic library", 2017, disponible en línea, consultado 23/2/2021, <https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic>
- [16] S. D. Roth, "Ray casting for modeling solids," *Computer Graphics and Image Processing*, Volume 18, Issue 2, Pages 109-144, 1982,

# Aplicación de métodos cuantitativos en la programación de eventos: una aplicación en el carnaval uruguayo

*Application of quantitative methods for the programming of artistic shows: an application in the uruguayan carnival*

Alfonsina Cardozo<sup>1</sup>, Carolina Guido<sup>2</sup>, Juan Carlos Machin<sup>3</sup>

Recibido: Febrero 2021

Aceptado: Marzo 2021

**Resumen.-** En este trabajo se presenta una aplicación de métodos cuantitativos para la programación de espectáculos artísticos. Específicamente, el trabajo realizado para el problema de la confección del fixture del Concurso de Carnaval de las Promesas 2019/2020. Dicho evento, es una competencia perteneciente al carnaval uruguayo que cuenta con cinco categorías artísticas diferentes, dirigida a agrupaciones conformadas por niños y adolescentes. Se desarrolló un modelo de programación matemática entera mixta para el problema, con el objetivo de equilibrar la asistencia de público y cumplir con las restricciones del reglamento del concurso, así como con otros requerimientos indicados por los organizadores.

**Palabras clave:** Organización de Eventos Artísticos; Toma de decisiones; Programación matemática; Timetabling; Optimización.

**Summary.-** In this work an application of quantitative methods for the programming of artistic shows is presented. In particular, the work carried out for the problem of making the fixture for the contest "Carnaval de las Promesas 2019/2020". This event is a competition belonging to the Uruguayan carnival that has five different artistic categories, created especially for groups of children and adolescents. A mixed integer mathematical programming model was developed for the problem. The objective was to balance the attendance of the public and comply with the restrictions of the contest regulations, as well as other requirements indicated by the organizers.

**Keywords:** Organization of Artistic Events; Decision Making; Mathematical Programming; Timetabling; Optimization.

---

<sup>1</sup> Ingeniera de Producción, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, alfoncardozo@gmail.com , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6507-2281>

<sup>2</sup> Ingeniera de Producción, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, guica\_11@hotmail.com , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0271-830X>

<sup>3</sup> Ingeniero de Producción, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, jmachin@fing.edu.uy , ORCID iD: 0000- <https://orcid.org/0002-4564-6089>

**Introducción.-** El motivo por el que se decide llevar a cabo este trabajo fue el desafío que implicaba confeccionar la programación de los espectáculos teniendo en cuenta ciertas restricciones, asignando para un conjunto de espacios de tiempo, el conjunto de espectáculos disponibles. Dicha asignación suele realizarse según el conocimiento de una persona competente o al azar [1]. Esto implica algunos inconvenientes, como puede ser no tener presente todas las consideraciones de las partes interesadas [2]. Por eso, se considera de interés generar una herramienta para la confección del calendario de forma objetiva y teniendo en cuenta las preferencias de las diferentes partes interesadas.

Para definir un evento, se toma la definición de la Real Academia Española [3], en la cual un evento es un “suceso importante y programado, de índole social, académica, artística o deportiva”. Se llama evento entonces a un suceso programable, que ocurre en un espacio de tiempo determinado. Un conjunto de eventos es un acontecimiento que puede ser de índole social, académico, artístico o deportivo. Dentro del acontecimiento se le asigna a cada evento un espacio de tiempo.

Dado entonces un conjunto acotado de eventos, se denomina programación de eventos al proceso de asignar cada uno de los eventos a un cierto espacio de tiempo, con un inicio y un fin, de un conjunto finito de espacios de tiempo disponibles. El objetivo es organizar las actividades teniendo en cuenta las necesidades y preferencias de las diferentes partes interesadas. De esta manera se logra la satisfacción de estos y en la mayoría de los casos mayor rentabilidad para el evento [4]. Por partes interesadas se refiere a cualquier individuo, grupo u organización que forme parte o se vea afectado por el mismo, obteniendo algún beneficio o perjuicio.

El primer objetivo de este proyecto consistió en realizar un relevamiento sobre la bibliografía en torno a la aplicación de métodos cuantitativos en la programación de eventos, con el fin de mostrar en qué fase de desarrollo se encuentra este tema. Como resultado del relevamiento se realizó un estado del arte, con un abordaje sobre métodos cuantitativos aplicados a problemas de programación de un acontecimiento y problemas de asignación relacionados.

El segundo objetivo del proyecto fue tomar un caso de estudio de un espectáculo artístico local en donde sea relevante realizar la programación del calendario de ese acontecimiento. El espectáculo seleccionado fue el Carnaval de las Promesas, un concurso donde participan alrededor de 2.000 jóvenes todos los años. Dicho concurso es desarrollado por la Intendencia de Montevideo en coordinación con la Asociación de Directores del Carnaval de las Promesas (ADICAPRO), una institución sin fines de lucro que tiene como objetivo el desarrollo artístico, personal y cultural de niños y adolescentes.

Obtenido el caso de estudio, se desarrolló en primer lugar un modelo matemático de programación del calendario. Para determinar el modelo, se estudió el reglamento del concurso, así como también fueron consultados expertos del tema, particularmente las personas que confeccionan actualmente el calendario. Para la recolección y análisis de los datos necesarios, se contó con el apoyo de ADICAPRO y se realizaron encuestas a todas las agrupaciones participantes de dicho concurso. El objetivo es determinar la programación con concurrencia equilibrada y que cumpla con las restricciones del reglamento y otras restricciones que permiten una programación más atractiva para el público y más justa para las agrupaciones.

**1. Aplicación de métodos cuantitativos en la confección de calendarios.-** La utilización de modelos matemáticos permite la comprensión y la resolución de problemas, los cuales implican abstracciones que tienen en cuenta las interacciones relevantes de las entidades de dicho problema. Se busca con el modelo determinar una solución óptima dentro de un conjunto factible de decisiones. Los diferentes trabajos relevados en la confección de nuestro estado del arte se clasifican en dos tipos: problemas de programación de un acontecimiento y problemas de asignación relacionados. A su vez, dentro de los primeros, se clasifican según el tipo de evento: deportivo, académico o artístico.

Como conclusión de dicha investigación observamos que la menor cantidad de trabajos fue

encontrada en el campo artístico, donde dentro del mismo la mayor parte son sobre programación de comerciales de TV, y solamente tres artículos sobre el tema de motivación de nuestro estudio. La categoría de trabajos deportivos es donde encontramos la mayor cantidad de trabajos dentro de programación de eventos. Encontramos que los métodos cuantitativos han sido aplicados a diferentes deportes, con el foco, en la mayoría de los casos, de maximizar ganancias. Por otro lado, en el campo académico, los trabajos se centran en beneficiar a las partes interesadas. Por último, en la categoría de problemas de tipo asignación fue donde se encontró la mayor cantidad de trabajos, a pesar de no estar contenidos en nuestra definición de programación de eventos, pero que a nuestra consideración aportan a la comprensión del tema.

En la mayoría de los trabajos encontrados los métodos cuantitativos son una herramienta que permite obtener una solución de mejor calidad. Esta solución obtenida es una herramienta de ayuda en la toma de decisión. Identificamos una falta de bibliografía específica sobre la programación de eventos artísticos.

**2. Carnaval uruguayo.-** El Carnaval en Uruguay es una fiesta popular de carácter internacional. Se lo declaró de Interés Nacional, se lo considera como la máxima fiesta popular y es el carnaval más largo del mundo. Empieza a finales de enero y continúa hasta mediados de marzo, durante más de 50 días, consistiendo en desfiles callejeros y escenarios barriales. Con el fin de seleccionar como caso de estudio un espectáculo artístico nacional en donde se realice la programación del evento, se trabajó con el carnaval de las promesas.

El carnaval tiene una fuerte relevancia en la cultura uruguaya. Esto se ve principalmente con el Concurso Oficial de Carnaval, que es excluyente para mayores de edad. Con el objetivo de promover la inclusión social y la integración de niñas, niños y adolescentes y fomentar el desarrollo artístico, personal y cultural de los mismos surge el Carnaval de las Promesas.

El Carnaval de las Promesas es organizado por el Departamento de Cultura de la Intendencia de Montevideo en coordinación con la Asociación de Directores del Carnaval de las Promesas (ADICAPRO).

Mediante el carnaval de las promesas se pretende que los niños logren un desarrollo personal y artístico, que logrará que, en futuras etapas de sus vidas, consigan tener una visión del mundo y las personas que los rodean, que les sea útil para alcanzar sus metas personales y profesionales. En la actualidad participan del concurso entre 1500 y 2000 niños y jóvenes entre los 5 y 18 años. Durante el año se apunta a realizar una actividad cultural con talleres de música, canto, coreografía, baile, actuación, maquillaje, vestuario y escenografía. Esto es llevado a cabo por niños, padres, excomponentes y técnicos formados dentro y fuera del Carnaval de las Promesas.

**3. Análisis y resolución del problema.-** Para entender el Carnaval de las Promesas y el proceso actual de programación, se consultó a los integrantes de ADICAPRO y la Gerencia de Eventos de la Intendencia de Montevideo, donde vimos la modalidad del concurso, las agrupaciones participantes, los tipo de agrupaciones y cómo confeccionaban el calendario los años anteriores. Más allá de encontrar una solución, la participación de los encargados actuales en la elección y validación del calendario es imprescindible para que éste sea acorde a sus criterios. La herramienta brindada es un apoyo a la toma de decisiones de la dirección, que no sustituye al responsable de tomar las decisiones.

Al profundizar en el tema, se observa que la elaboración del calendario por el método manual utilizado actualmente implica varias jornadas de trabajo. Además de ser complejo tener en cuenta todo el reglamento [5], también es posible que al realizar modificaciones causen un desajuste en otro aspecto. Por ello, es beneficioso encontrar un modelo matemático que represente correctamente la realidad, teniendo en cuenta todas las restricciones del sistema y que permita encontrar una solución en un menor tiempo.

**3.1. Modelo matemático.-** El objetivo es lograr una programación del calendario del Carnaval de las Promesas de manera que las etapas sean equilibradas en relación con la asistencia del público. Para esto, se minimiza las desviaciones de la ponderación de popularidad de cada etapa con respecto al promedio de ponderaciones

La manera optada para medir la concurrencia de las agrupaciones fue mediante el uso de encuestas. Para involucrar a las agrupaciones en este proyecto las encuestas fueron realizadas por ellos, lo cual también lleva a motivarlos en su entendimiento y aceptación del nuevo método de creación del fixture. De esta manera, un delegado de cada agrupación debió indicar si la convocatoria del resto de las agrupaciones era alta, mediana o baja. Se prefirió que la agrupación no puntúe a otras de su misma categoría para lograr una mayor objetividad.

Los parámetros de entrada del modelo están compuestos por las agrupaciones a programar, su respectiva ponderación de popularidad, el promedio de esta ponderación, agrupaciones que cuentan con bandas y los conjuntos de agrupaciones que pueden cerrar y abrir una etapa.

En la edición del concurso 2019/2020 participaron 40 agrupaciones. El concurso se desarrolló en 2 rondas de 10 etapas cada una. El modelo matemático creado permite resolver las dos rondas al mismo tiempo, buscando el óptimo global y teniendo en cuenta las restricciones que relacionan las dos rondas.

**3.2. Resolución.-** El modelo cuenta con 37 familias de restricciones, para corroborar el funcionamiento del modelo, se asignó arbitrariamente valores a los parámetros del sistema: ponderaciones de las agrupaciones y promedio. Se incluyeron gradualmente diferentes restricciones de manera de ir validando el modelo de a grupos de restricciones y procurando obtener una solución en cada caso.

Se decide usar para todo el proyecto el paquete de software de optimización AMPL–CPLEX versión 12.8.0.0 y versión 12.9.0.0. Se corrieron los modelos en la computadora de características: CPU Intel Core i7 -6700 -3.40GHz -24GB RAM.

Para determinar el calendario para las dos rondas del concurso, se obtuvo una solución con un tiempo de procesamiento de aproximadamente 14000 segundos.

**3.3. Resolución alternativa.-** Se analizó la posibilidad de resolver el problema mediante otra estrategia de resolución. La misma consiste en resolver ambas rondas del concurso de manera independiente, mediante dos modelos distintos. En una primera instancia, se resuelve la ronda 1 y con la información obtenida, se resuelve en otro modelo la ronda 2.

Esta metodología implica dos modelos diferentes, derivados de modificaciones del modelo original utilizado para calcular las dos rondas. En el Modelo Ronda 1, se eliminan las restricciones que involucran a la ronda 2, y se obtiene una programación únicamente para la ronda 1 del concurso. Mientras que en el Modelo Ronda 2, se ingresa la solución del Modelo Ronda 1 como parámetros del modelo, para poder obtener una ronda 2 que tenga en cuenta las asignaciones de agrupaciones de la ronda 1. También se eliminan de este último modelo aquellas restricciones que involucran solo a la ronda 1.

Con la resolución alternativa concluimos que no siempre se podrá utilizar, porque con los datos de la ronda 1, la ronda 2 puede ser no factible, dependerá de los datos, consideraciones y parámetros del caso de estudio.

Si bien esta metodología implica una disminución del tiempo de procesamiento de la ronda 1 con respecto al modelo de ambas rondas juntas, no asegura encontrar solución para la ronda 2. Cuando nos planteamos resolver las dos rondas al mismo tiempo, el programa busca el óptimo para ambas rondas teniendo en cuenta las restricciones que las relacionan. Al eliminar estas restricciones y no buscar el óptimo global, puede que no se encuentre una solución factible para la ronda dos.

Por esta razón decidimos descartar la alternativa de resolver el problema en dos etapas, utilizando el modelo base para determinar la programación de ambas rondas.

Sin embargo, un modelo que permita programar la ronda 2 con datos de la ronda 1, es una herramienta valorada para ADICAPRO. Esto se debe a que hay cierta probabilidad de que alguna etapa de la primera ronda se suspenda, por ejemplo, a causa de inclemencias del clima. Esta estrategia permite tener en cuenta lo que sucedió en la primera ronda para poder programar la siguiente ronda.

**4. Experimentación numérica.-** El objetivo de la experimentación numérica es evaluar el resultado obtenido en diferentes casos de prueba, considerando el tiempo de procesamiento, el valor de la función objetivo y los calendarios obtenidos. Para llevar a cabo la experimentación numérica se plantearon diferentes casos de prueba.

En base al modelo de resolución de ambas rondas, se realizó una experimentación numérica donde se evalúa el impacto en el calendario resultante al modificar parámetros de entrada. Esto es necesario dado que los datos pueden tener cierta incertidumbre y es útil saber cómo esto se refleja en la solución correspondiente. A partir de esta evaluación surge que el calendario resultante depende de los datos ingresados, por lo cual es importante el tratamiento de las encuestas de manera de que estos datos sean lo más representativos de la realidad como sea posible.

También con base en el modelo de resolución de ambas rondas, con el objetivo de determinar el impacto que tiene inicializar parcialmente información en el solver, se decide estudiar cómo este comporta computacionalmente al inicializar distintas variables de decisión. Para ello, se fija el tiempo de procesamiento y se evalúa el valor de la función objetivo obtenido en diferentes pruebas al inicializar distintas variables. De esto, se puede concluir que inicializar variables no aporta a tener una solución de mejor calidad.

Finalmente, se evaluaron diferentes situaciones en caso de que ocurran suspensiones de alguna etapa de la ronda 1. Si alguna etapa de la ronda 1 es suspendida durante el concurso, el calendario para la segunda ronda debe reprogramarse teniendo en cuenta lo acontecido en la ronda anterior. En ciertos casos analizados se eliminaron algunas restricciones para lograr factibilidad. Se destaca que, en caso de que exista suspensión de alguna o varias etapas, el reprogramar el calendario de la segunda ronda del concurso con los datos de la ronda 1 como entrada implica un tiempo de procesamiento en cuestión de segundos. Esto favorece a ADICAPRO porque los días entre la ronda 1 y ronda 2 son acotados y se debe presentar la programación de la ronda 2 rápidamente, para que las agrupaciones planifiquen su presentación. Al suspender etapas y reprogramar el calendario, el valor de la función objetivo no mejora con respecto al caso base, ya que la solución en este caso es más restringida. Asimismo, no hay una relación entre la cantidad de etapas que se suspendieron y los calendarios obtenidos. Dependiendo de la etapa que se suspendió, varía como afecta al calendario resultante.

**5. Conclusiones.-** Como primera conclusión, afirmamos que se alcanzó el primer objetivo del proyecto, el cual consistió en realizar un relevamiento sobre métodos cuantitativos aplicados a la programación de eventos, y más específicamente los vinculados a espectáculos artísticos.

Con respecto al segundo objetivo, el cual consistió en aplicar esta metodología a un evento cultural local, se trabajó junto a ADICAPRO y la Intendencia de Montevideo, para determinar la programación del Concurso de las Promesas 2019/2020. Este objetivo también fue alcanzado ya que el calendario obtenido, luego de unas modificaciones manuales, fue utilizado en la edición del concurso 2019/2020 [6].

Consideramos enriquecedor el aplicar la ingeniería a temas de la cultura local, donde participan una gran cantidad de jóvenes. Como estudiantes de la Universidad de la República, poder volcar lo que aprendimos a la sociedad nos llena de orgullo y emoción. También, consideramos que presentar este trabajo a jóvenes puede motivar la participación de estos en una carrera universitaria científica-tecnológica y demostrar cómo esta puede relacionarse con las áreas culturales.

Confecionar el calendario mediante esta herramienta es una manera objetiva, que cuenta con un

respaldo matemático, a diferencia de los sorteos utilizados actualmente por ADICAPRO. Si bien los sorteos son una manera imparcial para el armado, no se tiene en cuenta la ventaja de encontrar un calendario óptimo según un criterio definido. Se logró obtener un calendario factible con concurrencia equilibrada y que cumpla con las restricciones del reglamento y las consideraciones más justas para todas las agrupaciones. Otra ventaja respecto a la metodología manual es reducir el tiempo de armado del calendario. Al aplicar métodos cuantitativos se obtienen distintos calendarios tomando en cuenta diferentes consideraciones. Esto le permite al tomador de decisiones poder compararlos y elegir el calendario que mejor se adapten a sus necesidades.

Luego de relevado el caso de estudio se elaboró un modelo matemático para resolver las dos rondas del concurso simultáneamente, teniendo en cuenta las relaciones determinadas en el reglamento del concurso y lo indicado por la organización. La función objetivo del modelo fue encontrar una programación del concurso de manera que las etapas sean equilibradas en relación con la asistencia del público. Los datos para el modelo fueron obtenidos mediante encuestas realizadas a las diferentes agrupaciones. Vale destacar, que el involucramiento de los participantes en las encuestas de convocatoria de las agrupaciones lleva a que estos se sientan parte de la creación del calendario. Esto genera un acercamiento con los integrantes, logrando que se acepte nuestro trabajo de forma más sencilla. Además, al analizar la experimentación numérica observamos la importancia de estos datos en el calendario final, por eso se procura que esta información refleje la realidad de la convocatoria.

Por otro lado, se analizó la posibilidad de resolver el problema mediante otra estrategia de resolución. La misma consiste en resolver ambas rondas de manera independiente, mediante dos modelos distintos. En una primera instancia, se resuelve la ronda 1 y con la información obtenida, se resuelve en otro modelo la ronda 2.

En un principio creímos que resolverlas por separado no generaba valor, ya que consideramos pertinente encontrar un óptimo global para ambas rondas del concurso mediante el modelo de ambas rondas. Luego a lo largo del transcurso del carnaval, observando la cantidad de suspensiones de etapas que ocurrieron, concluimos que, dada la alta probabilidad de inclemencias climáticas, no permite utilizar la ronda 2 obtenida originalmente con el modelo de ambas rondas. Entendimos la importancia de contar con un modelo que encuentre el óptimo para la ronda 2 con los datos de lo acontecido en ronda 1.

Esto también nos lleva a pensar que quizás es conveniente obtener la programación de la ronda 1 con el Modelo Ronda 1, y luego con los datos de la realidad utilizando el Modelo Ronda 2, hallar la programación para la ronda siguiente. En el caso de que haya suspensiones en la ronda 1, de cualquier manera, se utiliza el Modelo Ronda 2. Esta metodología implica un mejor valor de función objetivo para la ronda 1 y una reducción en el tiempo de procesamiento para la obtención de los calendarios. Por lo tanto, basándose en la probabilidad de que existan suspensiones, es necesario evaluar en cada caso concreto y elegir realizar la programación mediante alguna de las estrategias de resolución presentadas. En el caso de que esta probabilidad sea baja para determinado año, es conveniente el modelo de ambas rondas, ya que se obtiene el óptimo global para ambas rondas. Otro aspecto importante también, es que permite encontrar factibilidad para ambas, lo que al programar solo la ronda uno con su modelo correspondiente no asegura factibilidad para la ronda 2 al buscar el óptimo local de esta. A pesar de que para las circunstancias del concurso 2019/2020 no utilizamos la metodología alternativa de resolución por fase, es importante aclarar que en los próximos años puede resultar útil.

Consideramos que a futuro se podría adaptar y generalizar nuestro modelo para que sea útil e independiente de la cantidad y clasificación de las agrupaciones e incluso para otros concursos con características similares. También, esperamos que nuestra investigación sea fuente de motivación para otros que deseen involucrarse en la planificación de eventos ya sea de índole deportiva, académica o artística. Una modificación al proyecto podría ser cambiar el enfoque por uno que procure maximizar la concurrencia del público. Esto implicaría trabajar en conjunto con otras áreas

como marketing o comunicación. Por otro lado, para modelar la realidad se podría ponderar los diferentes horarios y días, ya que la concurrencia de público depende de los mismos. De lo contrario, podría también evaluarse otras formas de medir la concurrencia. Por último, con el objetivo de reducir el tiempo de procesamiento para resolver ambas rondas, se podría investigar el uso otras metodologías de resolución, como por ejemplo mediante el desarrollo de procedimientos heurísticos basados en alguna metaheurística.



## 6. Referencias

- [1] F. Ortega, M. Pozo, J. Puerto. Modelling and planning public cultural schedules for efficient use of resources. *Computers & Operations Research* 58, 9–23, 2015.
- [2] Uno por uno, los 10 líos que dejó este carnaval. *Diario El Observador*. <https://www.elobservador.com.uy/nota/uno-por-uno-los-10-lios-que-dejo-este-carnaval-201936155957>. Último acceso: 14/02/2021
- [3] Real Academia Española. *Diccionario de la lengua española (Edición de tricentenario)*, 2008.
- [4] G. Kendall, S. Knust, C. Ribeiro, S. Urrutia. Scheduling in sports: An annotated bibliography. *Computers & Operations Research* 37, 1-19, 2010.
- [5] Boletín Cultura. Sección: Reglamentos del Carnaval 2020. <http://www.boletincultura.com/2019/11/reglamentos-del-carnaval-2020.html>. Último acceso: 15/12/2019
- [6] Equilibrio y taquilla: estudiantes de ingeniería diseñaron el fixture del carnaval de las promesas. *Diario El Observador*. <https://www.elobservador.com.uy/nota/equilibrio-y-taquilla-estudiantes-de-ingenieria-disenaron-el-fixture-del-carnaval-de-las-promesas-2019112810611>. Último acceso: 14/02/2021

# Desarrollo y evaluación de alternativas tecnológicas para reducir el contenido de alcohol y el pH de vinos tintos

*Development and evaluation of technological alternatives to reduce the alcohol content and the pH of red wines.*

Diego Piccardo<sup>1</sup>, Fernando Zamora<sup>2</sup>, Gustavo González-Neves<sup>3</sup>

Recibido: Febrero 2021

Aceptado: Marzo 2021

**Resumen.** - El objetivo de esta investigación fue desarrollar y evaluar tecnologías que permitan reducir el contenido de alcohol y el pH de los vinos tintos Pinot noir y Tannat sin disminuir su color y composición fenólica. Para reducir el contenido de alcohol y el pH se evaluó la sustitución parcial del mosto de uva madura por mosto de uva inmadura. Frente a un posible efecto de dilución al realizar la sustitución de mosto, se evaluó adicionalmente una maceración pre-fermentativa en caliente. La sustitución de mosto fue una técnica efectiva para reducir el contenido de alcohol y el pH, sin modificar la concentración fenólica de los vinos elaborados en ambos cultivares. Adicionalmente, la maceración pre-fermentativa en caliente incrementó el color del vino y su concentración en polifenoles totales, antocianos, catequinas y proantocianidinas. El impacto de ambas técnicas estuvo determinado por las características varietales y las condiciones de maduración, por lo que es necesario continuar adaptando estas técnicas a diferentes cultivares y en otras situaciones de cultivo. El desarrollo de estas tecnologías es una herramienta interesante ya que pueden ser aplicadas de forma diferencial de acuerdo con el potencial enológico de la uva en cada vendimia, mitigando los efectos del cambio climático sobre su composición.

**Palabras clave:** Tannat; Pinot noir; maceración pre-fermentativa en caliente; color del vino; composición fenólica del vino.

**Summary.** - *The objective of this research was to develop and evaluate technologies that reduce the alcohol content and pH of Pinot noir and Tannat red wines without reduce their color and phenolic composition. To reduce wine alcohol content and pH, a partial substitution of the must of ripe grapes by must of unripe grapes was evaluated. Faced with a possible dilution effect when substituting must, a pre-fermentation hot maceration was additionally evaluated. Must substitution was an effective technique to reduce the alcohol content and the pH without modifying the phenolic concentration of wines made in both cultivars. Additionally, the pre-fermentation hot maceration increased the color of the wine and its concentration in total polyphenols, anthocyanins, catechins and proanthocyanins. The impact of both techniques was determined by the varietal characteristics and the ripening conditions, so it is necessary to continue adapting these techniques to different cultivars and in other growing situations. The development of these technologies is an interesting tool because they can be applied differentially according to the oenological potential of the grape in each harvest, mitigating the effects of climate change on its composition.*

**Keywords:** Tannat; Pinot noir; pre-fermentative hot maceration; wine color; wine composition

---

<sup>1</sup>Dr en Ciencias Agrarias. Unidad de Tecnología de los Alimentos. Facultad de Agronomía. Udelar. Garzón 780, 12900. Montevideo. Uruguay. dpiccardo@fagro.edu.uy ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1911-0686>

<sup>2</sup>Dr en Ciencias Químicas. Departament de Bioquímica i Biotecnologia, Facultat d'Enologia. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España fernando.zamora@urv.cat ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4213-3528>

<sup>3</sup>Dr en Ciencias de los Alimentos. Unidad de Tecnología de los Alimentos. Facultad de Agronomía. Udelar. Garzón 780, 12900. Montevideo. Uruguay. gustavogn@fagro.edu.uy ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0828-4752>

**Introducción.** - El color y el cuerpo del vino tinto son dos características sensoriales que determinan su calidad y su potencial para la crianza. Estas están asociados a la concentración de compuestos fenólicos del vino, principalmente antocianos y taninos, y a sus interacciones con otros compuestos durante la vinificación. Para elaborar vinos con cuerpo y de color intenso es necesario cosechar la uva en un estado avanzado de maduración y realizar una intensa extracción de los compuestos fenólicos durante la vinificación. La vinificación de uva con una madurez avanzada trae consigo dos problemas importantes en la elaboración de vinos. Por un lado, los vinos presentan altos valores de pH lo que ocasiona una menor efectividad del anhídrido sulfuroso y una mayor susceptibilidad al desarrollo de microorganismos indeseados, a la vez que puede ocasionar una disminución en la intensidad del color. En estas condiciones, se hace imprescindible la corrección del pH del vino, lo que resulta en un incremento en los costos de elaboración. Por otro lado, los vinos elaborados con uvas en madurez avanzada presentan alto contenido de alcohol. La aplicación de políticas públicas y la concientización por la salud del consumidor han llevado a una disminución del consumo de bebidas con altos niveles de alcohol. Si bien el consumo moderado de vino tinto puede tener efectos beneficiosos para la salud por su contenido significativo en compuestos bioactivos, el vino contiene valores de alcohol importantes, sobre todo cuando se elabora a partir de uvas cosechadas en estados avanzados de maduración.

Para reducir el contenido de alcohol y el pH del vino es posible cosechar las uvas en etapas tempranas de la maduración, con menor contenido de azúcares y pH. Sin embargo, la inadecuada maduración de hollejos y semillas puede originar vinos mal coloreados, amargos, astringentes y herbáceos, afectando su calidad.

Una alternativa tecnológica para reducir el contenido del alcohol y el pH del vino, sin afectar su color y composición fenólica, puede ser la sustitución parcial del mosto obtenido a partir de la uva madura por mosto de uva inmadura. Esta técnica se basa en que los azúcares y ácidos, que determinan respectivamente el contenido de alcohol y el pH de los vinos, se encuentran localizados en la pulpa de la uva, en tanto que los compuestos fenólicos responsables del color y cuerpo del vino están localizados en los hollejos. Así, se logra macerar los hollejos y las semillas de la uva madura en un mosto sustituido parcialmente por mosto de uva inmadura, con menor concentración de azúcares y mayor acidez total. Sin embargo, existe una dificultad a la hora de predecir el efecto de esta técnica sobre la composición del vino, ya que es imposible cuantificar con exactitud cuanto mosto de uva inmadura se sustituye en relación con mosto total de la uva madura. Esto ocurre porque el mosto debe extraerse, luego del estrujado y despalillado de la uva, por decantación, sin ejercer presión sobre los hollejos y las semillas de la uva madura, para no extraer los compuestos fenólicos. De esta forma, un remanente de mosto queda retenido entorno a los hollejos y semillas. Por tanto, es posible que al realizar la sustitución del mosto pueda existir un efecto indeseado de dilución de los compuestos fenólicos afectando la calidad del vino. La maceración pre-fermentativa en caliente podría utilizarse como una técnica complementaria que permita potenciar la extracción de estos compuestos en etapas tempranas de la maceración, mitigando el efecto de dilución. La maceración pre-fermentativa en caliente consiste en calentar el mosto, previo a la fermentación alcohólica, a temperaturas comprendidas entre 40 y 80 °C por un tiempo variable y tiene como objetivo incrementar la extracción de compuestos fenólicos y el color del vino.

**1. Objetivo.** - El objetivo general de esta investigación fue determinar la efectividad de la sustitución del mosto de uva madura por mosto de uva inmadura y la maceración pre-fermentativa en caliente, para reducir el contenido de alcohol y el pH del vino, sin disminuir su color y su concentración fenólica.

## 2. Metodología. - .

**2.1. Vinificaciones y diseño experimental.** - La investigación se llevó a cabo sobre uvas Tannat y Pinot noir cosechadas durante las vendimias 2016, 2017 y 2018. Ambos cultivares fueron cosechados manualmente en viñedos comerciales ubicados en el departamento de Canelones en el sur de Uruguay.

Al inicio del envero se cosecharon 100 kg de uva por variedad para obtener un mosto con alta acidez y baja concentración de azúcares. Las uvas se estrujaron, despalillaron (Alfa 60 R, Italcom, Piazzola Sul Brenta, Italia) y se prensaron ligeramente en una prensa manual para obtener 50 L de mosto de uva inmadura. El mosto de uva inmadura se sulfito con 100 mg/L de  $K_2S_2O_8$ , se desfangó, se envasó en un recipiente de 50 L y se conservó a 4 °C hasta su uso. Adicionalmente, cuando la uva alcanzó la madurez tecnológica, se cosecharon 120 kg de uva por variedad. Para cada variedad, la uva se distribuyó aleatoriamente en 12 lotes de 10 kg. La uva se despalilló y estrujó y el mosto se sulfito con 100 mg/L de  $K_2S_2O_8$  y se distribuyó en 12 recipientes de 10 L de capacidad. Los tanques con mosto se dividieron aleatoriamente en dos grupos de seis recipientes cada uno. Seis tanques mantuvieron el mosto original (mosto original - MO), mientras que en los otros seis tanques se substituyó 3 L de mosto de uva original por 3 L de mosto de uva inmadura con el objetivo de reducir el contenido de azúcares y pH (mosto reducido en azúcares-MR).

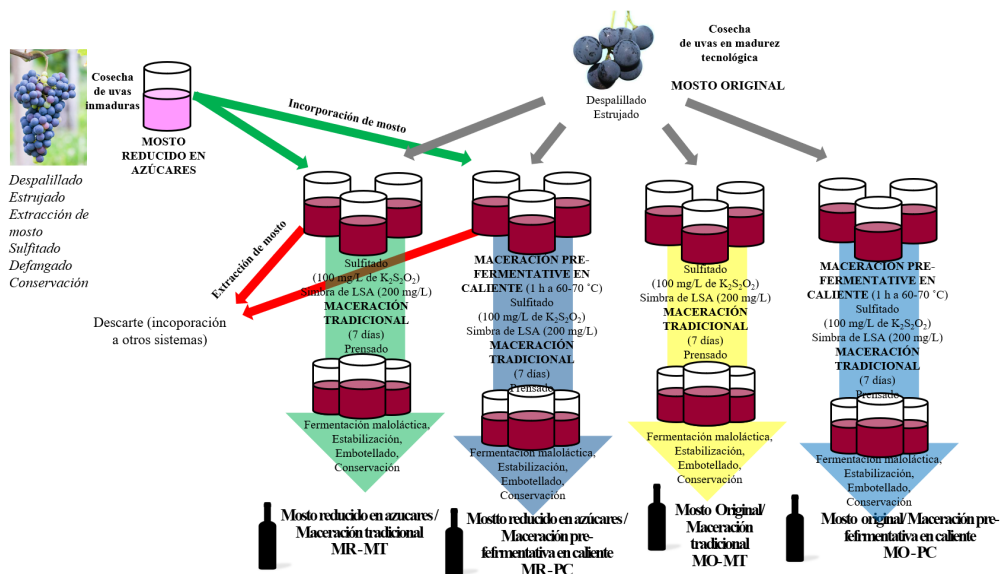


Figura I. – Vinificaciones y diseño experimental

A continuación, se maceraron tradicionalmente (MT) tres tanques de cada grupo experimental (MO y MR), mientras que los otros tres tanques se sometieron a maceración pre-fermentativa en caliente (PC) durante 1 hora a una temperatura entre 60 y 70 °C. El calentamiento se realizó transfiriendo el orujo a tanques de acero inoxidable de 11 L que se sumergieron en un baño de agua caliente (a 80-90 °C). Durante el calentamiento, el orujo se homogeneizó manualmente. Al finalizar el tratamiento térmico, los tanques de acero inoxidable se sumergieron en un baño de agua fría para refrigerarlos a temperatura ambiente (alrededor de 26 °C). Posteriormente, el mosto se trasladó a los tanques originales de 10 L. Así, se obtuvieron cuatro grupos experimentales para cada cultivar: mosto original con maceración tradicional (MO-MT), mosto reducido en azúcares con maceración tradicional (MR-MT), mosto original con maceración pre-fermentativa en caliente (MO-PC), y

mosto reducido en azúcares con maceración pre-fermentativa en caliente (MR-PC) (Figura 1).

Todos los tanques se inocularon con 200 mg/L de levadura seca activa (*Saccharomyces cerevisiae ex bayanus* Natuferm 804; Oenobiotech, París, Francia) y se fermentaron en contacto con hollejos y semillas. Durante la maceración, todos los contenedores se homogeneizaron manualmente una vez al día. Después de 7 días de maceración, se extrajo el vino de gota y se prensó ligeramente el orujo en una prensa manual. El vino de gota y el vino de prensa de cada tanque se unificaron y se mantuvieron en recipientes de 5 L a temperatura ambiente ( $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ). La fermentación alcohólica se completó cuando las medidas diarias de densidad del mosto fueron inferiores a 998 g/L durante tres días consecutivos. Una vez finalizada la fermentación maloláctica espontánea, se estabilizaron con 100 mg/L de  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  y 300 mg/L de lisozima (Delvo®Zyme, Delft, Holanda). Finalmente, los vinos se envasaron en botellas de 375 ml de capacidad y se almacenaron en una cava oscura a temperatura ambiente de laboratorio hasta su análisis. Los análisis comenzaron 2 meses después del embotellado y finalizaron 3 semanas después.

**2.2. Análisis estándares de mostos y vinos.** - Se emplearon los métodos analíticos recomendados por la Organización Internacional de la Viña y el Vino [1] para determinar la concentración de azúcares, el pH y la acidez titulable de los mostos. El contenido de etanol, la acidez titulable y el pH de los vinos se analizaron utilizando un analizador de infrarrojos Winescan TM Autosampler 79,000 (Foss, EE. UU.) y el software Foss Integrator ver, 154 (Foss, Dinamarca).

**2.3. Análisis espectrofotométricos de uvas y vinos.** - La riqueza fenólica de la uva, su contenido en antocianos totales y su extractibilidad se determinó utilizando el procedimiento descrito por González-Neves et al. [2]. El color de los vinos se evaluó mediante índices espectrofotométricos clásicos. La intensidad colorante se determinó directamente sobre muestras de vino colocadas en una cubeta de 1 mm de paso óptico utilizando el método propuesto por Glories [3]. La composición fenólica de los vinos se evaluó mediante índices espectrofotométricos clásicos. Los polifenoles totales se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteu, según Singleton y Rossi [4]. La concentración de antocianos se analizó mediante la técnica descrita por Ribéreau-Gayon y Stonestreet [5]. Las catequinas se cuantificaron utilizando el método propuesto por Swain y Hillis [6], y las proantocianidinas se determinaron de acuerdo con Ribéreau-Gayon y Stonestreet [7].

**2.4. Análisis estadístico.** - Todos los resultados se expresan como el promedio aritmético  $\pm$  desviación estándar de tres repeticiones. El análisis de varianza multifactorial (MANOVA) se realizó con INFostat [8], y se realizaron comparaciones múltiples entre muestras mediante el uso de la prueba de Hotelling.

### 3. Resultados. -

**Composición del mosto en cosecha.** - La Tabla 1 muestra la composición de los mostos Pinot noir y Tannat cosechados a principios del invierno (1<sup>er</sup> cosecha) y en madurez tecnológica (2<sup>da</sup> cosecha) durante las vendimias 2016, 2017 y 2018. Las uvas cosechadas en la madurez tecnológica presentaron mayor concentración de azúcares y el pH y menor acidez titulable, indicando un mayor nivel de maduración. El potencial fenólico de la uva se determinó solamente sobre las cosechadas en madurez tecnológica que aportaron los hollejos y las semillas que fueron macerados durante la vinificación. Las uvas Tannat presentaron mayor riqueza fenólica y potencial en antocianos totales que las uvas Pinot Noir. Asimismo, el índice de extractibilidad de los antocianos fue mayor en las uvas Tannat, lo que indica que una menor proporción de antocianos son extraídos durante la maceración en relación con el potencial en antocianos totales. Estos resultados están de acuerdo

con las características descritas para estas variedades en Uruguay [2].

Cultivar	Año de vendimia	Momento de cosecha	Azúcares (g/L)	Acidez titulable (gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L)	pH	A280	ApH1	EA (%)
Pinot Noir	2016	1 <sup>er</sup> cosecha	129 b	12,25 a	3,10 b	-	-	-
		2 <sup>da</sup> cosecha	243 a	3,62 b	3,52 a	33,5	939	30,8
	2017	1 <sup>er</sup> cosecha	171 b	5,11 a	3,29 b	-	-	-
		2 <sup>da</sup> cosecha	224 a	4,86 b	3,45 a	53,4	212	26,0
	2018	1 <sup>er</sup> cosecha	175 b	4,48 a	3,22 b	-	-	-
		2 <sup>da</sup> cosecha	245 a	3,94 b	3,59 a	58,9	434	25
Tannat	2016	1 <sup>er</sup> cosecha	175 b	8,43 a	3,12 b	-	-	-
		2 <sup>da</sup> cosecha	243 a	4,51 b	3,31 a	47,5	2258	51,6
	2017	1 <sup>er</sup> cosecha	182 b	5,98 a	3,10 b	-	-	-
		2 <sup>da</sup> cosecha	193 a	5,48 b	3,23 a	61,5	949	49,2
	2018	1 <sup>er</sup> cosecha	191 b	4,19 a	3,14 b	-	-	-
		2 <sup>da</sup> cosecha	263 a	3,63 b	3,27 a	81,6	2334	47

Tabla 1. - Composición fenólica de los vinos según cultivar y año de vendimia. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). A280: riqueza fenólica de la uva, ApH1: potencial en antocianos totales, EA (%): es índice de extractibilidad de los antocianos.

El potencial enológico de las uvas fue diferente de acuerdo con el año de vendimia. Tanto las uvas Tannat como Pinot noir presentaron mayor concentración de azúcares y riqueza fenólica, y menor índice de extractibilidad de los antocianos en la vendimia 2018. El potencial en antocianos totales de las uvas Pinot noir fue mayor en la vendimia 2016, en tanto que en las uvas Tannat las mayores concentraciones se registraron en las vendimias 2016 y 2018 respectivamente. Para ambos cultivares, el menor potencial enológico de las uvas se registró en la vendimia 2017. Ferrer et al. [9] demostraron que los compuestos relacionados con la calidad de la uva se ven favorecidos por la acumulación de temperaturas durante las primeras etapas del ciclo de cultivo, mientras que las altas temperaturas y la disponibilidad hídrica durante la maduración los afectan negativamente. Estas condiciones son muy variables entre años, determinando diferencias en el potencial enológico de las uvas entre vendimias. Se debe considerar que las uvas Pinot noir presentan un ciclo de maduración menor respecto a las uvas Tannat, por lo que las condiciones climáticas durante este período son diferentes. Además, ambos cultivares presentan un potencial enológico diferente. Las uvas Tannat se caracterizan por tener contenidos muy elevados de pigmentos (antocianos) y taninos, en tanto que las uvas Pinot noir presentan una gran riqueza polifenólica (sobre todo en semillas), constituida casi exclusivamente por taninos, con muy bajos contenidos de antocianos.

**3.1. Efectos sobre el contenido de etanol y el pH.** – En la Tabla 2 se observan los efectos del año de vendimia, la composición del mosto y la técnica de maceración sobre el contenido de alcohol, la acidez total y el pH de los vinos.

El año de vendimia expresa el contenido promedio de alcohol, la acidez titulable y el pH de todos los vinos producidos en la misma cosecha, independientemente de la composición del mosto y la técnica de maceración. Los vinos Pinot noir y Tannat producidos a partir de la cosecha 2018 y 2016 presentaron mayor contenido de alcohol respecto a los elaborados en la vendimia 2017. Los valores más altos de pH se registraron en los vinos producidos en 2017 y 2018 para Pinot noir y 2016 y 2018 para Tannat respectivamente. De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 1, las uvas Pinot noir y Tannat recolectadas en 2016 y 2018 tuvieron mejores condiciones de maduración lo que permitió cosecharlas con un mayor nivel de madurez, con mayores concentraciones de azúcares, respecto a las cosechadas en el 2017.

La composición del mosto expresa el contenido promedio de alcohol, la acidez titulable y el pH de todos los vinos producidos con mosto original (MO) o mosto reducido en azúcares (MR), independientemente del año de vendimia y la técnica de maceración. Los vinos MR de ambos cultivares presentaron menor contenido de etanol y pH y mayor acidez titulable que los vinos MO. El reemplazo del mosto de las uvas maduras por el mosto de las uvas inmaduras implicaba una disminución en el contenido de azúcares y pH y un aumento de la acidez titulable [12, 13]. Esta técnica se realizó previo a la maceración fermentativa, lo que implicó que las levaduras inoculadas tuvieran una menor concentración de azúcares para transformar en alcohol, explicando el menor contenido de éste en los vinos. Asimismo, los resultados obtenidos en la acidez titulable y el pH de los vinos MR de ambos cultivares se corresponden con la composición del mosto de uva inmadura utilizado en la sustitución (Tabla 1).

La técnica de maceración expresa el contenido promedio de alcohol, la acidez titulable y el pH de todos los vinos producidos por la maceración tradicional (MT) o la maceración pre-fermentativa en caliente (PC), independientemente del año de vendimia y la composición inicial del mosto. No se encontraron diferencias significativas debidas a la técnica de maceración, en la composición básica de los vinos de ambos cultivares, excepto por un leve incremento en el contenido de alcohol de los vinos PC elaborados a partir del cultivar Tannat. Investigaciones previas [10,11] reportaron un mayor contenido de alcohol en los vinos Tannat elaborados por maceración pre-fermentativa en caliente debido a una leve evaporación del agua durante la etapa de calentamiento que podría originar una concentración del mosto y a una mayor extracción de compuestos nitrogenados que podría contribuir a mejorar la eficiencia fermentativa de las levaduras. Además, reportaron que los vinos elaborados por esta técnica de maceración podrían presentar mayor pH, ya que, durante el calentamiento pre-fermentativo, aumenta la extracción de cationes, lo que resulta en un aumento en el pH dado por la salificación del ácido tartárico.

Variedad	Factor analizado		Alcohol (% v/v)	Acidez titulable (g/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	pH
Pinot noir	Año de vendimia	2016	13,0 b	4,23 a	3,61 c
		2017	12,6 c	2,51 c	3,87 a
		2018	14,7 a	3,27 c	3,80 b
	Composición inicial del mosto	MO	14,3 a	2,93 b	3,87 a
		MR	12,6 b	3,74 a	3,65 b
	Técnica de maceración	MT	13,4 a	3,31 a	3,75 a
		PC	13,4 a	3,36 a	3,77 a
	Composición inicial de mosto X Técnica de maceración	MO-MT	14,4 a	2,93 b	3,86 a
		MR-MT	12,5 c	3,79 a	3,63 b
		MO-PC	14,2 b	2,92 b	3,87 a
		MR-PC	12,6 c	3,70 a	3,63 b
	Tannat	Año de vendimia	2016	14,0 b	4,30 a
2017			11,2 c	2,93 c	3,86 c
2018			15,4 a	3,85 b	3,89 b
Composición de mosto		MO	14,0 a	3,51 b	3,95 a
		MR	13,0 b	3,88 a	3,83 b
Técnica de maceración		MT	13,3 b	3,74 a	3,87 a
		PC	13,7 a	3,64 a	3,92 a
Composición de mosto - Técnica de maceración		MO-MT	14,0 a	3,61 b	3,92 b
		MR-MT	12,6 c	3,87 a	3,81 d
		MO-PC	14,0 a	3,40 c	3,98 a
		MR-PC	13,4 b	3,88 a	3,85 c

Tabla 2. - Composición básica de los vinos según cultivar. Medias con distinta letra indican diferencias

significativas ( $p < 0.05$ ). MO: Mosto original. MR: Mosto reducido en azúcares. MT, Maceración tradicional. PC: Maceración pre-fermentativa en caliente.

La interacción entre la composición del mosto y la técnica de maceración expresa el contenido promedio de alcohol y pH de todos los vinos producidos con mosto original y la maceración tradicional (MO-MT), mosto reducido en azúcares y maceración tradicional (MR-MT), mosto original y maceración pre-fermentativa en caliente (MO-PC), o mosto reducido en azúcares y maceración pre-fermentativa en caliente (MR-PC), independientemente de la cosecha. Para ambos cultivares, el contenido de alcohol y pH de los vinos MO-MT y MO-PC fue significativamente mayor que el de los vinos MR-MT y MR-PC. Estos resultados indican que la sustitución es una técnica efectiva para elaborar vinos con menores contenido de alcohol y pH. Resultados similares fueron reportados por Kontoudakis et al. [12] y Rollet et al. [13], empleando técnicas de sustitución de mostos similares.

**3.2. Composición fenólica del vino.** – La composición fenólica de los vinos fue diferente según el año de vendimia (Tabla 3). Los vinos Pinot noir producidos en 2016 presentaron mayores concentraciones de polifenoles, antocianos, catequinas y proantocianidinas. Por su parte, los vinos Tannat 2016 presentaron mayor concentración de polifenoles y proantocianidinas, en tanto que los vinos 2018 presentaron mayores concentraciones de antocianos y catequinas. Para ambos cultivares los vinos producidos en la vendimia 2017 presentaron las menores concentraciones. El nivel de maduración de las uvas cosechadas en la segunda fecha (Tabla 1) determinó fuertemente la composición fenólica de los vinos.

La composición inicial del mosto no modificó la concentración de polifenoles, antocianos, catequinas y proantocianidinas de los vinos de ambos cultivares. Otras técnicas propuestas para reducir el contenido de alcohol del vino han afectado de manera selectiva la concentración de las distintas familias fenólicas [13]. Según estos autores, la concentración más baja de etanol podría afectar la extracción de taninos altamente polimerizados de las uvas durante la fermentación. Además, sugieren que, si bien se esperaría una menor concentración de antocianos, debido al remplazo de una parte del mosto, esto no implica una pérdida, ya que este remplazo se realizó previo a la maceración. Kontoudakis et al. [12] encontraron que los antocianos no son afectados cuando se reduce la concentración de etanol en un 3.0 % v/v por un remplazo de una parte del mosto de uva madura por vino con bajo contenido de alcohol en tanto que las proantocianidinas eran menos abundantes.



Variedad	Factor analizado		Polifenoles Totales (mg/L)	Antocianos (mg/L)	Catequinas (mg/L)	Proantocianidinas (mg/L)
Pinot noir	Año de vendimia	2016	1641 a	350 a	1528 a	3045 a
		2017	998 c	213 c	379 c	1264 c
		2018	1182 b	243 b	774 b	1667 b
	Composición inicial del mosto	MO	1254 a	269 a	884 a	1990 a
		MR	1281 a	268 a	902 a	1994 a
	Técnica de maceración	MT	900 b	218 b	517 b	1112 b
		PC	1635 a	319 a	1269 a	2872 a
	Composición inicial de mosto X Técnica de maceración	MO-MT	908 c	214 b	487 b	1081 b
		MR-MT	892 c	222 b	548 b	1144 b
		MO-PC	1599 b	325 a	1280 a	2899 a
		MR-PC	1671 a	313 a	1258 a	2845 a
	Tannat	Año de vendimia	2016	2479 a	1052 a	1769 b
2017			1624 c	614 b	1420 c	2690 c
2018			2140 b	1165 a	1883 a	3260 b
Composición de mosto		MO	2045 a	960 a	1667 a	3397 a
		MR	2117 a	994 a	1714 a	3352 a
Técnica de maceración		MT	1784 b	838 b	1281 b	2764 b
		PC	2379 a	1117 a	2100 a	3985 a
Composición de mosto - Técnica de maceración		MO-MT	1821 c	832 c	1273 b	2792 b
		MR-MT	1747 d	843 c	1289 b	2735 b
		MO-PC	2345 b	1088 b	2061 a	4001 a
		MR-PC	2413 a	1146 a	2141 a	3968 a

Tabla 3. - Composición fenólica de los vinos según cultivar. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). MO: Mosto original. MR: Mosto reducido en azúcares. MT, Maceración tradicional. PC: Maceración pre-fermentativa en caliente.

Las concentraciones de polifenoles, antocianos, catequinas y proantocianidinas de los vinos PC fueron significativamente más altos que los de los vinos MT en ambos cultivares. Estos resultados concuerdan con estudios previos [10,11] y confirman que esta técnica permite incrementar la extracción de polifenoles, ya que el calentamiento pre-fermentativo contribuye a degradar los tejidos de los hollejos, liberando estos compuestos en el mosto.

Al analizar el efecto conjunto de la composición del mosto y la técnica de maceración, se observa que los vinos MO-PC y MR-PC presentaron mayores contenidos de polifenoles, antocianos, catequinas y proantocianidinas que los vinos MO-MT y MR-MT. Los vinos Pinot noir elaborados con las técnicas de reemplazo de mosto y maceración pre-fermentativa en caliente (MR-PC) presentaron mayor concentración de polifenoles totales en tanto que, los vinos Tannat elaborados con ambas técnicas de vinificación presentaron mayor concentración de polifenoles totales y antocianos. Esta respuesta diferencial está determinada por el potencial enológico del cultivar y las condiciones de maduración de las uvas al momento de cosecha.

**3.3. Color del vino.** – La intensidad colorante de los vinos Pinot noir y Tannat se observa en la Figura II. Los vinos Pinot noir con mayor intensidad colorante fueron elaborados a partir de la vendimia 2016 en tanto que los elaborados en la vendimia 2017 y 2018 presentaron valores significativamente menores. Los vinos Tannat mostraron mayor intensidad colorante que los vinos Pinot noir, siendo significativamente más alta en los elaborados en la vendimia 2016. El color del vino está determinado por la concentración de antocianos, su extracción durante la maceración y las interacciones con otros compuestos durante la vinificación y conservación del vino. Asimismo, se debe considerar las características varietales. Los vinos Pinot noir presentan baja concentración de antocianos, por lo que son menos estables. Los vinos Tannat se caracteriza por presentar una alta concentración de antocianos, pero difíciles de extraer durante la vinificación.

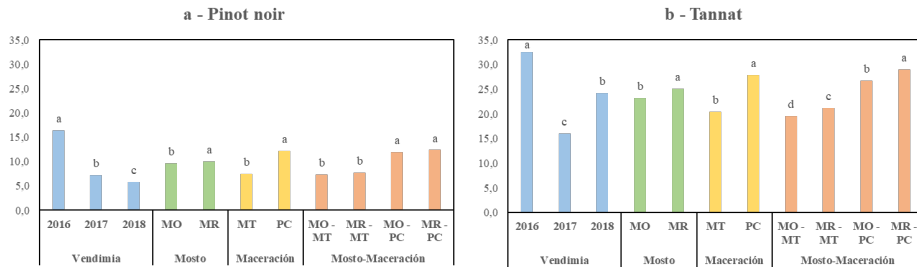


Figura II. – Intensidad colorante de los vinos Pinot noir y Tannat

Para ambos cultivares, los vinos MR presentaron mayor intensidad colorante. Este resultado se debe al efecto del pH sobre el equilibrio de las distintas formas antocianicas. Cuando el pH disminuye, el equilibrio entre las diferentes formas de los antocianos se desplaza hacia la forma roja de las moléculas, el catión flavilio [14].

Los vinos PC de ambos cultivares presentaron mayor intensidad colorante en relación con los vinos MT. Este resultado se debe a la mayor extracción de antocianos durante la etapa pre-fermentativa y ha sido reportado previamente en otras investigaciones [10,11].

Al analizar el efecto de la combinación de ambas técnicas de vinificación, se observó que los vinos Pinot noir MO-PC y MR-PC presentaron la mayor intensidad de color sin diferenciarse significativamente entre sí. Este incremento en la intensidad colorante está directamente relacionado a una mayor concentración de antocianos extraídos durante la maceración pre-fermentativa en caliente. Adicionalmente, en los vinos Tannat se observó un incremento en la intensidad colorante dado por la combinación de ambas técnicas de vinificación, por un lado, el mayor valor de pH que modifica el equilibrio de los antocianos hacia formas menos coloreadas y, por otro la mayor extracción de antocianos por la maceración pre-fermentativa en caliente.

**4. Conclusiones.** - La sustitución del mosto de uva madura por mosto de uva inmadura y la maceración pre-fermentativa en caliente son alternativas tecnológicas que permiten reducir el contenido de alcohol y el pH, e incrementar la concentración de las distintas familias fenólicas y el color de los vinos tintos de ambos cultivares. La técnica propuesta de sustitución de mosto fue efectiva para reducir el contenido de alcohol y el pH del vino y no modificó su composición fenólica. La maceración pre-fermentativa en caliente permitió incrementar el color del vino y su concentración en polifenoles, antocianos, catequinas y proantocianidinas.

El impacto de ambas técnicas de vinificación estuvo determinado por las características varietales y las condiciones de maduración, por lo que es necesario continuar la investigación adaptando estas técnicas a distintos cultivares y en otras situaciones de cultivo. El desarrollo de estas tecnologías es una herramienta interesante ya que pueden ser aplicadas de forma diferencial de acuerdo con el potencial enológico de la uva en cada vendimia, mitigando los efectos del cambio climático sobre su composición.

**5. Agradecimientos.** – D. Piccardo agradece el apoyo financiero de CAP (Comisión Académica de Posgrado de la Universidad de la República), ANII (Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay; beca MOV\_CA\_2015\_1\_107599), CSIC (Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Universidad de la República; becas Movilidad 2017 y 2018).

Los autores agradecen a Dr. Ing Agr. Guzmán Favre, Dra. Ing. Alim. Olga Pascual y Dr. Joan Miquel Canals por su participación y apoyo en las distintas etapas de la tesis doctoral. También agradecen al INAVI (Instituto Nacional de Vitivinicultura de Uruguay) por el apoyo técnico, y a Establecimiento Juanicó y Bodega Olga Silva por las uvas empleadas en los ensayos.

## 6. Referencias

- [1] OIV. *Compendium of international: methods of analysis of wines and musts*. Vol 1. 2018. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin. Paris, France.
- [2] G. González-Neves, D. Charamelo, J. Balado, L. Barreiro, R. Bochicchio, G. Gatto, G. Gil, A. Tesore, A. Carbonneau, M. Moutounet. *Phenolic potential of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition*. Analytical Chimica Acta, 2004. 513:191–196
- [3] Y. Glories. *La couleur des vins rouges*. 2e. Partie : Mesure, origine et interprétation. Connaissance Vigne Vin, 1984. 18 (4): 253-271.
- [4] V. Singleton, J. Rossi. *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic and phosphotungstic acid reagents*. American Journal of Enology and Viticulture, 1965. 16, 144–158.
- [5] P. Ribéreau-Gayon, E. Stonestreet. *Le dosage des anthocyanes dans les vins rouges*. Bulletin de la Société Chimique de France, 1965. 9, 2649–2653.
- [6] T. Swain, W. Hillis. *The phenolic constituents of Prunus domestica. I. The quantitative analysis of phenolic constituents*. Journal of Science and Food Agriculture, 1959. 10: 63-68.
- [7] P. Ribéreau-Gayon, E. Stonestreet. *Dosage des tanins dans du vin rouge et détermination de leur structure*. Chimie Analytique, 1966. 48, 188–196.
- [8] J.A. Di Rienzo, F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. *InfoStat versión 2015*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- [9] M. Ferrer, G. Echeverría, M. Miras-Avalos. *Meteorological Conditions: Influence on Yield, Sanitary Status and Grape Composition*. International Journal of Environmental & Agriculture Research, 2017.8 (3): 16-27.
- [10] D. Piccardo D, G. Favre, O. Pascual, J.M. Canals, F. Zamora, G. Gonzalez. *Influence of the use of unripe grapes to reduce ethanol content and pH on the color, polyphenol and polysaccharide composition of conventional and hot macerated Pinot Noir and Tannat wines*. European Food Research and Technology, 2019. 245 (6): 1321-1335.
- [11] D. Piccardo, *Evaluación de distintas alternativas en la elaboración de vinos tintos de la variedad Tannat*. Tesis de Maestría. 2015. Montevideo, Facultad de Agronomía, Uruguay.
- [12] N. Kontoudakis, M. Esteruelas, F. Fort, J.M. Canals, V. De Freitas, F. Zamora. *Influence of the heterogeneity of grape phenolic maturity on wine composition and quality*. Food Chemistry, 2011. 124: 67–774.
- [13] L. Rolle, V. Englezos, F. Torchio, F. Cravero, S. Río Segade, K. Rantsiou, S. Giacosa, A. Gambuti, V. Gerbi, L. Coccolin. *Alcohol reduction in red wines by technological and microbiological approaches: A comparative study*. Australian Journal of Grape Wine Research, 2018. 24 (1): 62-74.
- [14] F. He, N.N. Liang, L. Mu, Q.H. Pan, J. Wang, M.J. Reeves, C.Q. Duan. *Anthocyanins and their variation in red wines I. Monomeric anthocyanins and their color expression*. Molecules, 2012. 17:1571–1601

# Creación de una criptomoneda que funcione como token de utilidad dentro de un ecosistema de empresas, permitiendo el pago de productos y servicios

*Creating a cryptocurrency which will work as a utility token within a business ecosystem, making possible the payment of products and services*

*Santiago Mancini<sup>1</sup>, Federico Scuotegazza<sup>2</sup>, Luis Gurméndez<sup>3</sup>,  
Rafael Sotelo<sup>4</sup>, Marcos Begérez<sup>5</sup>, Gabriel Álvarez<sup>6</sup>*

Recibido: Abril 2019

Aprobado: Mayo 2021

**Resumen** - Con el creciente avance de las tecnologías de la información, cada vez aparecen más ramas de la materia. Comunidades de muchas partes del mundo se encuentran investigando y desarrollando en diferentes áreas de la informática con el fin de encontrar soluciones innovadoras. Blockchain es una de estas ramas que busca la transparencia, seguridad, y descentralización de las bases de datos y sistemas informáticos.

La constante evolución de esta tecnología nos lleva a la necesidad de estudiar los beneficios y herramientas que actualmente están siendo desarrollados en esta área de las tecnologías de la información. Investigar cuáles son las facilidades que nos brinda el hecho de incorporar esta tecnología emergente en nuestros sistemas y soluciones informáticas, cuáles son sus desventajas, así como también evaluar su posibilidad de integrarse con otras herramientas, son algunas de las inquietudes que surgen inmediatamente.

Este proyecto consistió en investigar las soluciones más populares de blockchain e implementar el despliegue de una criptomoneda que permita realizar transacciones entre un grupo cerrado de organizaciones.

**Palabras Clave:** Blockchain, Criptomoneda; Sistema de pagos empresariales; Hyperledger; Token Digital.

**Summary** – *With the recent advances on information and communication technologies, every year we can see more and more branches in this topic. Communities from all over the world are continuously investigating and developing in different categories of the informatics with the idea of finding new innovative solutions to all type of problems. Blockchain is one of this branches that tries to solve transparency, security, and decentralization issues from the databases and informatic systems.*

*The constant evolution of this technology leads us to the necessity of studying the benefits and tools that are being developed in this topic of the information and communication technologies. Investigate what are the facilities that we may have by using this emerging technology in our systems and informatics solutions, what are the disadvantages, as well as to evaluate the possibility of integrating it to other tools, are some of the restlessness that immediately come up.*

*This article arises from a grade thesis made by the authors for a technology center ICT4V (Information and Communication Technologies For Verticals), and it intends to resume what was investigated and learnt during the project.*

**Keywords:** Blockchain, Cryptocurrency; Bussiness Payment System; Hyperledger; Digital Token.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Informático. Universidad de Montevideo, smancini@correo.um.edu.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6096-6777>

<sup>2</sup> Ingeniero Informático. Universidad de Montevideo, fscuotegazza@correo.um.edu.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7872-5285>

<sup>3</sup> Ingeniero Informático. Universidad de Montevideo, lgurmendez@correo.um.edu.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9508-0589>

<sup>4</sup> Doctor Ingeniero Electricista. Universidad de Montevideo, rsotelo@um.edu.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4034-3177>

<sup>5</sup> Ingeniero Informático. Bantotal, mbegerez@dlya.com.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4234-9951>

<sup>6</sup> Ingeniero Informático. Bantotal, galvarez@dlya.com.uy , ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5515-5646>

**1. Introducción.-** Con el creciente avance de las tecnologías de la información, cada vez aparecen más ramas de la materia. Comunidades de muchas partes del mundo se encuentran investigando y desarrollando en diferentes áreas de la informática con el fin de encontrar soluciones innovadoras a diversos. Blockchain es una de estas ramas que busca la transparencia, seguridad, y descentralización de las bases de datos y sistemas informáticos.

Blockchain es una tecnología en pleno desarrollo. A pesar de esto, existen muchas soluciones que utilizan blockchain como la tecnología base. Al redactarse este artículo, no hay muchos desarrolladores aprendiendo esta tecnología ni desarrollando activamente utilizando herramientas relacionadas.

Este proyecto consistió en el despliegue de una criptomoneda y su uso como token que permite realizar transacciones entre un grupo cerrado de organizaciones para dar cumplimiento a acuerdos establecidos entre las mismas y representados digitalmente bajo la forma de programas (contratos inteligentes). Más concretamente, el sistema diseñado permite establecer acuerdos y realizar transacciones entre los socios de ICT4V, un Centro Tecnológico de TICs que funciona en el Parque del LATU y que nuclea a cuatro universidades uruguayas, agencias públicas de gobierno, y varias empresas privadas. Una de esas empresas es De Larrobla & Asociados, vinculada al mundo bancario, que desarrolla el core bancario Bantotal, y fue la contraparte del proyecto en ICT4V.

El proyecto brinda a un grupo de organizaciones una forma alternativa para el intercambio de servicios. También implica un estudio en el campo de la tecnología blockchain, la cual es de suma importancia para el centro ICT4V debido al gran impacto y crecimiento que está teniendo.

El producto final cuenta con una solución de blockchain, donde se guarda toda la información con respecto a las transacciones. Una REST API que funciona como el backend con el cual se va a comunicar todos los clientes, y de ser necesario consultar la blockchain también se hará desde aquí. Y por último una webapp, que es el medio por el cual los clientes se conectan para interactuar con el sistema.

En este artículo se describirá lo realizado durante el proyecto. Se introducirán las tecnologías estudiadas y se verá un ejemplo práctico realizado para cada una de ellas. Se exponen ventajas y desventajas de usar una sobre otra. También se especifica cuál de las herramientas se usó para el desarrollo de la consigna, cuáles fueron los motivos de su elección, y cómo se trabajó con dicha tecnología.

Se espera que el artículo sirva como introducción a la tecnología blockchain, dando a conocer sus particularidades y facilidades que brinda al implementarse en un sistema informático.

**2. Blockchain.-** En 2008 Satoshi Nakamoto publica un *whitepaper* [39] introduciendo un concepto que solucionaría el problema de tener una entidad centralizada para poder realizar transacciones entre varios nodos. Propone un sistema peer-to-peer de transferencia de valor que se conoce como Bitcoin. A este concepto de almacenamiento de información distribuida se le llamó blockchain y es la tecnología que hace posible la implementación de criptomonedas. Blockchain o cadena de bloques es, en simples palabras, una base de datos distribuida en donde se agrupan y guarda registro de todas las transacciones de forma ordenada dentro de bloques, manteniendo cierta estructura que hace imposible la modificación de un registro. Como especifica el nombre, estos bloques están vinculados entre sí para generar esta estructura.

Existen varias implementaciones de blockchain en donde varían algoritmos de consenso, algoritmos de encriptado, tipos de nodos, roles, permisos, etc [40]. Pero todas estas soluciones siguen la misma estructura, la cadena de bloques. Se utilizará a Bitcoin como ejemplo de una implementación de blockchain. En donde se explicará, a grandes rasgos, las funcionalidades principales y cómo estas alcanzan la integridad de datos distribuida, utilizando una cadena de bloques.

Cuando se hace referencia a la entidad bloque, este es simplemente una estructura de datos que contiene un header y una lista de transacciones. Dentro del header se puede encontrar información del bloque en sí, como:

- Número de bloque
- Número de transacciones del bloque
- Fecha de creación (Timestamp)
- Nonce
- Dificultad del bloque
- Hash del bloque anterior
- Merkle Root

La lista de transacciones, es simplemente una lista que contiene los datos relevantes que se desean guardar dentro de la blockchain.

Para una mejor comprensión de esta tecnología consideramos necesario explicar el concepto de hashing. Un hash<sup>7</sup> es una secuencia de caracteres que se obtiene al aplicar una función de hashing a una cantidad arbitraria de elementos de datos. El hash tiene la particularidad de mantener siempre una cantidad fija de caracteres, y es imposible que a partir de un hash se consigan los datos que lo generaron, es decir una función inversa. Asimismo, cualquier cambio en uno de los valores de entrada de función de hash genera un hash completamente distinto. En Bitcoin la función de hashing que se utiliza es el algoritmo SHA-256<sup>8</sup> y se le llama hash de un bloque a el resultado de aplicar esta función usando como entrada, el hash del bloque anterior, el número de bloque, las transacciones y nonce.

La cadena de bloques es una concatenación de bloques en donde se utiliza el hash del bloque anterior para generar el hash del bloque actual. El primer bloque se llama el bloque génesis y tiene un número de bloque igual a 0 y es el único caso que no tiene referencia al bloque anterior.

Para agregar un bloque a la cadena se inicia un proceso de minería, en donde varios nodos llamados mineros, compiten para determinar quién es el que generará el siguiente bloque. En Bitcoin la creación de bloques se determina a través de un algoritmo de PoW (Proof of Work), que funciona de la siguiente manera. Los mineros están constantemente aplicando el algoritmo SHA-256 utilizando como valor de entrada una concatenación del hash del bloque anterior, el número de bloque, las transacciones y un nonce. El hash del bloque anterior, así como el número de bloque y las transacciones, son constantes para cada bloque y lo único que se varía es el valor del nonce, que lo inventan los mineros para obtener un hash distinto.

El primer minero que encuentre un nonce el cual genera un hash objetivo<sup>9</sup>, es el ganador. Este minero genera el bloque nuevo, guardando el nonce en el header del bloque y algunas de las transacciones que estén sin validar y lo transmite a todos los nodos contiguos en la red. Además el minero crea una transacción especial, donde se agrega a su propia cuenta una cantidad de bitcoins como comisión; actualmente son 6,5 y se reduce a la mitad cada 4 años. Esta es la motivación de los mineros para generar bloques. Los mineros además cumplen un rol muy importante, que es el de validar las transacciones o ejecutar contratos inteligentes.

Los contratos inteligentes o smart contracts son un script o una pieza de software que ejecuta cierta lógica, que en algunos casos puede representar un acuerdo entre partes como si fuese un contrato normal, donde se define lo que se puede hacer, cómo hacerlo, etc. Estos contratos están escritos en un lenguaje de programación y residen dentro de la blockchain. En otras palabras, son scripts o programas informáticos que corren dentro de la blockchain. Estos contratos se ejecutan automática y autónomamente sin intermediarios, lo cual brinda infinitas posibilidades y oportunidades. Cada blockchain tiene su propia implementación de smart contracts, como por ejemplo, Ethereum y Bitcoin. Ethereum está fuertemente basado en smart contracts y soporta smart contracts turing complete, es decir que brinda todas las operaciones, en cambio Bitcoin no. En Ethereum los smart contracts juegan un rol muy importante ya que brindan la posibilidad de crear tokens y a impulsado fuertemente la creación de las Initial Coin Offering (ICO). Las ICO son una forma de financiar proyectos en el cual se venden tokens de una moneda que esta es una etapa temprana. Estas monedas o tokens viven dentro de otras blockchains, son en definitiva smart contracts.

Para obtener más información en profundidad de la tecnología blockchain, se recomienda leer el artículo del enlace [42] de la bibliografía, en donde se explican conceptos como el “Longest Chain Rule”.

**3. Desarrollo realizado.-** Para el desarrollo de sistemas basados en blockchain están disponibles distintas plataformas, la mayoría de ellas open source. El equipo debió realizar un estudio previo de las posibles tecnologías a utilizar. Se resolvió escoger tres posibles plataformas y estudiarlas no sólo teóricamente sino también con un breve ejemplo práctico.

Se decidió estudiar las tecnologías HyperLedger [11], Ethereum [12] y Quorum [28]. Para tomar esta decisión, el equipo evaluó los siguientes puntos de cada tecnología (los primeros puntos pesan más en la decisión, siendo Adaptabilidad al problema el punto a destacar):

1. Adaptabilidad al problema
2. Documentación
3. Mantenimiento
4. Apoyo de la comunidad

---

<sup>7</sup> Hash: El resultado de aplicar una función de hash a un conjunto arbitrario de elementos de datos, representado en una serie de caracteres de texto de longitud fija.

<sup>8</sup> SHA-256: Algoritmo o función de hash, que transforma un conjunto arbitrario de elementos de datos, como puede ser un fichero de texto, en un único valor de longitud fija, llamado hash.

<sup>9</sup> Hash objetivo: Un hash que cumple cierta regla. Ej. Comience con cinco 0s consecutivos.

## 5. Empresas y organizaciones detrás de la plataforma

Luego de haber estudiado ampliamente cada una de las tres herramientas, realizado los trabajos prácticos, y debatido las ventajas y desventajas de utilizar una u otra, el equipo logró construir la siguiente tabla:

	Hyperledger Fabric	Ethereum	Quorum
<b>Adaptabilidad al problema</b>	Alta	Media	Alta
<b>Compañía detrás</b>	IBM, Linux Foundation	No	JPMorgan
<b>Permisado</b>	Si	No	Si
<b>Consenso</b>	Acepta distintas variedades	Basada en Mining Proof of work (PoW)	Raft Consensus
<b>Código de Smart Contract</b>	Javascript, Golang, Java	Solidity	Solidity
<b>Moneda</b>	Ninguna. Se puede definir una en la lógica	Ether	Ninguna
<b>Rendimiento</b>	>2000tps <sup>12</sup>	~200tps <sup>13</sup>	~100tps <sup>14</sup>
<b>Privacidad de las transacciones</b>	Soportada bajo algunas condiciones	No	Si
<b>Documentación</b>	Buena documentación. Actividad en internet por parte de los desarrolladores	Excelente documentación. Mucha actividad en internet de parte de la comunidad	Poca documentación. No se encontró mucha actividad de los desarrolladores.

**Tabla I.** Muestra las propiedades y puntos comparados de las diferentes tecnologías estudiadas

Puede ser de interés leer el artículo de la revista Academic de la cita [43] de la bibliografía, en donde se hace una comparación reciente de las diferentes plataformas blockchain.

La plataforma elegida a utilizar es **Hyperledger**.

Se entendió que el problema era fácilmente solucionable con Hyperledger Fabric o Quorum. Basta con definir un balance y agregar un costo para las transacciones que impliquen un intercambio de servicios. En Ethereum esto se resolvería con los Ether, pero el equipo se encontraría con el problema del costo que lleva realizar transacciones que no sean de intercambio de servicios ya que en Ethereum todas las transacciones tienen un costo de “gas” asociado para que queden plasmadas en la blockchain.

La herramienta está construida especialmente para problemas muy parecidos al planteado en la propuesta. También cuenta con una empresa detrás como IBM y el apoyo de The Linux Foundation.

La privacidad en las transacciones que presenta Hyperledger se cree que es muy importante. Ya que en Ethereum no existe ésta privacidad, todas las transacciones son públicas y se pueden rastrear. En Ethereum también es obligatorio el uso de Ether, mientras que en Hyperledger o Quorum no es necesario.

Hyperledger también cuenta con una mejor performance y fácil conexión con aplicaciones Angular y Node.js. Lo que facilita, en caso de ser necesario, el desarrollo de éstos para la solución.

Si bien Quorum era una buena opción, esta es una herramienta muy nueva, y como todo software nuevo, no es recomendable adaptarlo en un ambiente de producción.

Una vez que se eligió la tecnología para trabajar en la solución final, se pensó en la posible arquitectura para el sistema. Luego de evaluar distintas alternativas, se llegó a que la arquitectura sería la siguiente:

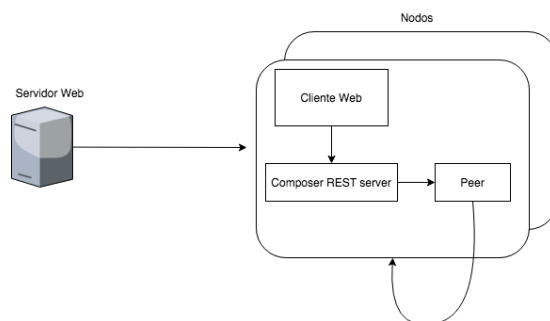


Figura I. Cuarta arquitectura

Las ventajas de esta solución se encuentran mayormente en la descentralización de la API. Esto permite que no se tenga que confiar en la disponibilidad de ningún nodo central, o que exista uno. Por lo que esto además hace que los nodos tengan las mismas funcionalidades y no haya diferencia entre ellos. Esto es una ventaja ya que es altamente escalable.

En marcos generales el funcionamiento del sistema sería el siguiente. Existen varios nodos conectados entre ellos, en donde cada uno corre contenedores de Docker que ejecutan componentes de la red. Cada nodo debe de tener al menos un peer ejecutando para que este se conecte un Composer REST Server. El cliente obtiene la aplicación web que es servida por el servidor de aplicación. Este servidor puede ser una máquina EC2 corriendo en Amazon, o en cualquier proveedor de infraestructura que permita exponer servicios. La aplicación web realiza las llamadas REST que se corresponden con transacciones dentro de la blockchain. Estas llamadas son manejadas por el Composer REST Server, que se comunica con el Peer y es este el encargado de difundir la transacción. Una vez que la transacción forma parte de un bloque válido, esta se ejecuta y el estado de la blockchain cambia en todos los nodos.

Se utilizó la tecnología Hyperledger Composer para el desarrollo de la solución. Si bien esta arquitectura está pensada con el supuesto que la tecnología usada es Hyperledger Composer, la misma sirve exactamente igual para Hyperledger Fabric. Ya que Hyperledger Composer es una solución basada en Hyperledger Fabric cuyo propósito es facilitar el desarrollo de la infraestructura de la blockchain. La gran diferencia es que se abstrae el servidor local que expone los servicios REST, o las transacciones y se crea un propio servidor escrito en Node.js. Este servidor expondrá también servicios REST que consume localmente la aplicación web.

Básicamente, los modelos [9] que se programaron fueron los que muestra la Figura II:



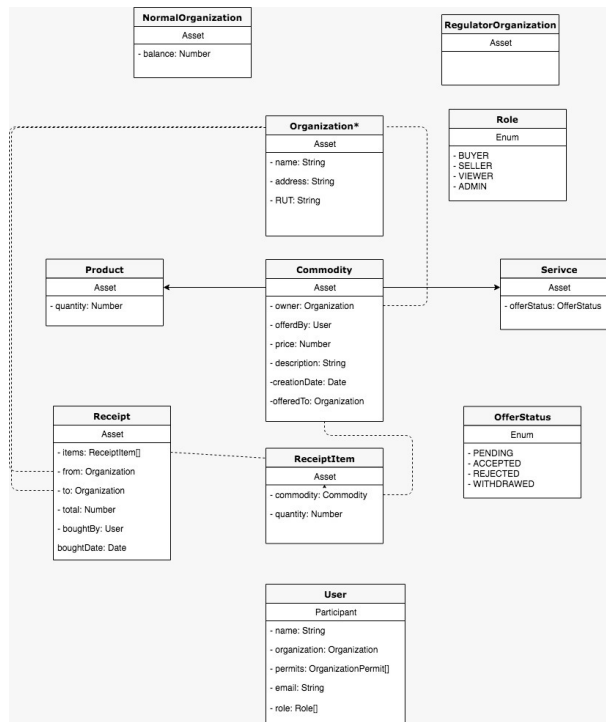


Figura II. Esquema del modelado para la solución al objetivo general

Los usuarios tienen distintos permisos dentro de la blockchain dependiendo de su rol y sus condiciones. La Access Control List [9] que se programó se puede representar a gran escala en la Figura III:

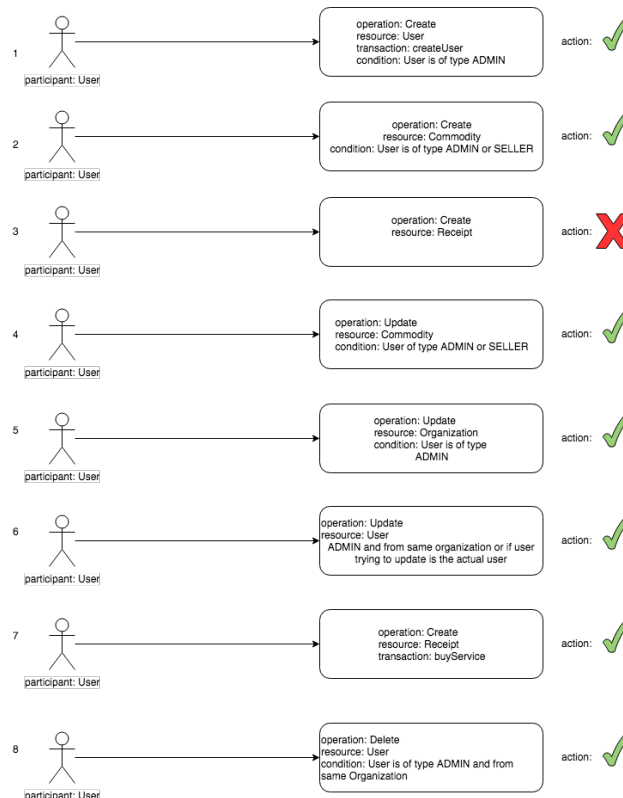


Figura III. Diagrama de permisos.

Lo que se pretendía desarrollar primordialmente, es la compra y venta de un servicio. Con los modelos y los permisos mencionados anteriormente, podemos ver el funcionamiento de la compra y venta de un servicio en el siguiente diagrama:

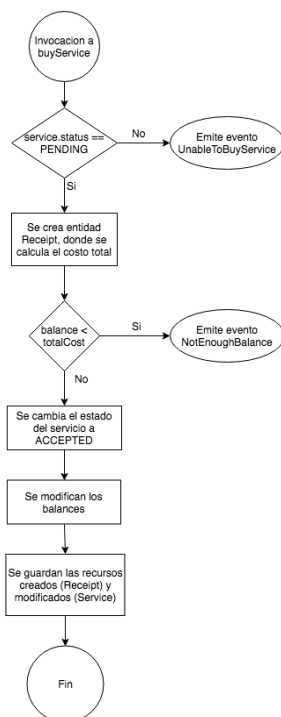


Figura IV. Diagrama de flujo de la compra de un servicio

Una vez terminado el desarrollo de la lógica de la Blockchain, es necesario el despliegue de la blockchain en varios nodos. Se pretende llegar a visualizar la red en al menos dos máquinas (virtuales o físicas) y validar la correcta sincronización constante de lo que ocurre.

Cuando se hacen modificaciones en la blockchain, un peer se comunica con un solo nodo de la red. Luego, este nodo deberá comunicar esta modificación a los demás nodos para así mantener sincronizados todos los peers de la red.

Esto es el caso ideal de una solución blockchain. Una solución multi-peer en donde existe una clara descentralización tanto de la información en la red como el procesamiento de las transacciones.

Para la realización de esta tarea, el equipo encontró dos posibles alternativas. La primera a través de la herramienta IBM Cloud [27] o la segunda, realizando el despliegue con las herramientas de Fabric y Composer.

La IBM Cloud es una herramienta que ofrece la compañía IBM para realizar distintas tareas en la nube. Una de las funcionalidades que brinda es la posibilidad de realizar el deploy de contratos inteligentes con extensión .bna (smartcontracts de Hyperledger Composer) en muy poco tiempo.

Se evaluó esta alternativa tomando en cuenta el aporte que tendría hacer el despliegue de esa manera y el costo de tomar esa alternativa.

Con respecto al aporte de realizar el despliegue a través de la IBM Cloud, si bien se cree que el deploy multi-peer de la solución es un punto importante de la investigación, se concluyó que de esta forma no aportaría grandes conocimientos técnicos.

Con respecto al costo, si bien IBM Cloud ofrece un saldo gratis para comenzar, de todas formas se requieren recursos económicos adicionales para usar esta solución. Además, la proyección económica a futuro de usar esta opción suponía grandes gastos. Se calificó esta solución como una alternativa costosa monetariamente.

El equipo se reunió con representantes de IBM para obtener más información tanto técnica como económica de los planes disponibles.

Se decidió por lo dicho previamente que se debía buscar y evaluar otra alternativa para la realización del despliegue multi-nodo en Hyperledger Composer.

La segunda alternativa que se evaluó fue hacer el despliegue de la blockchain localmente y en dos máquinas distintas.

En un principio el equipo entendió que lo ideal sería desplegar el .bna en dos máquinas virtuales que corren en diferentes hosts, y configurar dichas máquinas para que se sincronicen correctamente.

Luego de una extensa investigación, el equipo encontró que Hyperledger Composer no puede ser desplegado en múltiples nodos sincronizados. Por definición, Composer es un set de herramientas para trabajar sobre Hyperledger Fabric que facilita el desarrollo de aplicaciones que deben ser desplegadas luego en una red blockchain como Hyperledger Fabric[44], y este set de herramientas no incluye alguna interfaz para lograr el despliegue en múltiples hosts. Se llegó a que era necesario primero desplegar Hyperledger Fabric en al menos dos nodos, y luego usar el .bna generado por Composer, instalándolo en estos nodos [41].

Como se explica en los resultados obtenidos, no fue posible realizar el despliegue multi-peer con la herramienta localmente en dos máquinas ya que ésta no lo permite fácilmente. Debido a ello se decidió que esto se encontraba fuera del alcance de este proyecto.

Luego de desplegada la blockchain, se programó una aplicación web para que los usuarios finales puedan trabajar con la blockchain transparentemente. A su vez, se hizo uso del Composer REST Server [10] para la comunicación entre la blockchain y la aplicación web.

**4. Resultados.-** Se logró investigar en profundidad la innovadora y novedosa tecnología blockchain. Se estudiaron tres plataformas diferentes, se logró una extensa comparación y se escogió una de ellas para desarrollar la solución final. La plataforma elegida fue HyperLedger Fabric utilizando el módulo Hyperledger Composer para el desarrollo de la lógica.

Se desarrolló también el servidor que se comunica con la blockchain, y la aplicación web para el usuario final. Es posible realizar transferencias y operaciones con la blockchain desde la aplicación web correctamente.

La investigación fue fructífera al lograr comprender el estado actual de las diferentes tecnologías disponibles en el área, y se espera que este trabajo sirva como base para futuras investigaciones y desarrollos.

Por otro lado, también es válido citar un comentario descubierto mientras se investigaba sobre el tema. Simon Stone, líder del proyecto Composer para IBM, expuso en la página oficial de Hyperledger que la herramienta no continuará siendo mejorada. Si bien seguirá tratando de mantenerse lo que ya se tiene, no se continuará agregando más funcionalidades. Se deja claro que IBM en general no dispondrá más recursos para el desarrollo de Composer, y que el nuevo camino será hacia Hyperledger Fabric.

*“However - we at IBM believe that there are some fundamental problems with the architecture and design of Composer, as it is today, that have made us reconsider our future direction and plans.*

...

*At this time, IBM has decided to reduce the investment it makes towards developing Composer, in order to focus the team on directly delivering improvements into Fabric. ...”*

Este comentario se publicó en los foros oficiales de Hyperledger [38] el día treinta de agosto de dos mil dieciocho. Se cree que esto demuestra un claro indicio de que Hyperledger Composer seguirá manteniéndose como una herramienta de desarrollo, y no apuntada a ambientes de producción.

**5. Conclusiones.-** Una vez finalizado el proyecto, en retrospectiva, se puede apreciar cómo durante el transcurso del mismo se agregó valor tanto a los miembros del equipo de la Universidad de Montevideo, como al centro ICT4V y a los representantes de Bantotal.

Desde un comienzo el objetivo principal fue tener una solución basada en la tecnología de blockchain para el intercambio de servicios entre los diferentes miembros de ICT4V. Si bien no se pudo implementar la solución a nivel productivo debido a los problemas que se encontraron a la hora de realizar el despliegue, se provee el sistema base desde donde se puede seguir iterando para mejorar la solución, y eventualmente llegar a desplegar el sistema en ambiente productivo.

Otro de los objetivos, que el centro ICT4V comience a conocer las distintas tecnologías de blockchain y exista el intercambio de este conocimiento entre los miembros de la organización, fue cumplido. Se dio a conocer los hallazgos de este proyecto con distintos becarios que se encontraban comenzando proyectos con tecnologías como blockchain, Hyperledger Composer, Hyperledger Fabric. Advirtiendo sobre los distintos problemas encontrados durante el transcurso de esta solución y los beneficios de utilizar estas tecnologías.

**6. Agradecimientos.-** Este proyecto fue realizado con el apoyo de ICT4V ([www.ict4v.org](http://www.ict4v.org))

## 7. Referencias.

- [1] PasswordGenerator.net, “SHA256 Hash Generator”. <https://passwordgenerator.net/sha256-hash-generator/>
- [2] Anders, “Blockchain” <https://anders.com/blockchain/blockchain.html>
- [3] Instalar pre-requisitos de Hyperledger Composer, Hyperledger. <https://hyperledger.github.io/composer/v0.16/installing/installing-prereqs.html>
- [4] Instalar el cliente de Composer e instalar Hyperledger Fabric, Hyperledger. <https://hyperledger.github.io/composer/v0.16/installing/development-tools.html>
- [5] Yeoman Introduction, Yeoman. <http://yeoman.io/>
- [6] Loopback Introduction, Loopback. <https://loopback.io/>
- [7] Passport.js Introduction, Passport.js. <http://www.passportjs.org/>
- [8] Hyperledger Fabric Architecture, Hyperledger. <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-1.2/arch-deep-dive.html>
- [9] Definición de modelos en Composer, Hyperledger. [https://hyperledger.github.io/composer/latest/reference/cto\\_language](https://hyperledger.github.io/composer/latest/reference/cto_language)
- [10] Generando una API REST en Composer, Hyperledger. <https://hyperledger.github.io/composer/v0.16/integrating/getting-started-rest-api>
- [11] Hyperledger Fabric Propiedades, Hyperledger. <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-1.3/arch-deep-dive.html>
- [12] Gavin Wood (2013), “Formal definition of the Ethereum protocol”, Github. <https://github.com/ethereum/yellowpaper>
- [13] Amy Yu, “Ethereum Development Tutorial”, Github. <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/Ethereum-Development-Tutorial>
- [14] Alyssa Hertig, “How do Ethereum Smart Contracts Work”, Coin Desk. <https://www.coindesk.com/information/ethereum-smart-contracts-work/>
- [15] Dete (Sep 2017), “ERC: Non-fungible Token Standard”, Github. <https://github.com/ethereum/eips/issues/721>
- [16] James Ray, “A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform”. Github <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>
- [17] Alejandro Nieto (2017). “¿Qué es una ICO? La tecnología que está revolucionando la financiación empresarial”, Xataka. <https://www.xataka.com/empresas-y-economia/que-es-una-ico-la-tecnologia-que-esta-revolucionando-la-financiacion-empresarial>
- [18] Alyssa Hertig, “How Ethereum Mining works”. Coin Desk. <https://www.coindesk.com/information/ethereum-mining-works/>
- [19] Dmitry Melanchenko (May 2018) “Containers Part 2: What is docker-compose?”, Medium. <https://engineering.salesforce.com/containers-part-2-what-is-docker-compose-50a3a5685cc4>
- [20] Abdul Wahab (Feb 2018), Hyperledger Fabric on Multiple Hosts. Medium. <https://medium.com/@wahabjawed/hyperledger-fabric-on-multiple-hosts-a33b08ef24f>
- [21] How nodes work, Docker. <https://docs.docker.com/engine/swarm/how-swarm-mode-works/nodes/#manager-nodes>
- [22] Chernov y Gutierrez, (Ago 2018), Deploying a Multi-Node Hyperledger Fabric Network in 5 Steps. Altoros. <https://www.altoros.com/blog/deploying-a-multi-node-hyperledger-fabric-network-in-5-steps/>
- [23] Varun Raj (Mar 2018), “Setting up a Blockchain Business Network With Hyperledger Fabric & Composer Running in Multiple Physical Machine”, Medium. <https://medium.com/hyperlegendary/setting-up-a-blockchain-business-network-with-hyperledger-fabric-composer-running-in-multiple-bf4e38b6c6>
- [24] Hyperledger, “Architecture Explained”. <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-1.3/arch-deep-dive.html>
- [25] Mallikarjun Sarvepalli (Oct 2018), Hyperledger Fabric 1.2 on Multiple Hosts using Docker Swarm and Compose, Medium. <https://medium.com/@mallikarvepalli/hyperledger-fabric-1-2-on-multiple-hosts-using-docker-swarm-and-compose-11c13635e69e>
- [26] VirtualBox Introduction, VirtualBox. <https://www.virtualbox.org/>

- [27] IBM Cloud - Blockchain Platform, IBM. <https://www.ibm.com/cloud/blockchain-platform>
- [28] Quorum Main Page, JP Morgan. <https://www.jpmorgan.com/global/Quorum>
- [29] Blockchain en AWS, Amazon Web Services. [https://aws.amazon.com/blockchain/?nc1=h\\_ls](https://aws.amazon.com/blockchain/?nc1=h_ls)
- [30] CouchDB Main, CouchDB. <http://couchdb.apache.org/>
- [31] Docker Properties, Docker. <https://www.docker.com/why-docker>
- [32] Material Design, Material. <https://material.io/design/>
- [33] Hyperledger Certificate Authority, Hyperledger. <https://openblockchain.readthedocs.io/en/latest/Setup/ca-setup/>
- [34] NodeJS Documentation, NodeJS. <https://nodejs.org/en/docs/>
- [35] NPM Documentation, NPM. <https://docs.npmjs.com/>
- [36] NVM Documentation, NVM. <https://github.com/creationix/nvm>
- [37] Angular Documentation, Angular. <https://angular.io/docs>
- [38] Composer TSC update as of 30 Aug 2016,  
[https://lists.hyperledger.org/g/composer/topic/composer\\_tsc\\_update/25106848?p=,,,20,0,0,0::recentpostdate%2Fsticky,,,20,2,0,25106848](https://lists.hyperledger.org/g/composer/topic/composer_tsc_update/25106848?p=,,,20,0,0,0::recentpostdate%2Fsticky,,,20,2,0,25106848)
- [39] Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [40] What Different Types of Blockchains are There? <https://dragonchain.com/blog/differences-between-public-private-blockchains>
- [41] LahiruE (2018). StackOverflow. Hyperledger composer in multiple host (local network) [Online]. <https://stackoverflow.com/questions/52286838/hyperledger-composer-in-multiple-host-local-network>
- [42] The limits of trust-free systems: A literature review on blockchain technology and trust in the sharing economy. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567422318300292>
- [43] Comparison of blockchain platforms: a systematic review and healthcare examples. <https://academic.oup.com/jamia/article/26/5/462/5419321>
- [44] Documentación de Hyperledger Composer. <https://hyperledger.github.io/composer/latest/introduction/introduction.html>