

Introducción al modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas

Mg. Leonardo Navarria ^{1,2} , Ariel Pasini ³ , Elsa Estévez ⁴ 

¹Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP) Paseo del Bosque S/N La Plata

²Facultad de Ingeniería (UNLP) 1 esq. 47 La Plata, Buenos Aires

³Instituto de Investigación en Informática III- LIDI -Facultad de Informática (UNLP) 50 esq. 120 La Plata, Buenos Aires

Centro Asociado CIC

⁴Laboratorio de Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI)

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación – UNS

Av. San Andrés 800 – Campus de Palihue - Bahía Blanca, Buenos Aires

Centro Asociado CIC

lnavarria@fcaglp.unlp.edu.ar

apasini@lidi.info.unlp.edu.ar

ece@cs.uns.edu.ar

Abstract. El objetivo de este trabajo es introducir los gemelos digitales aplicados a la producción frutihortícola y como consecuencia reducir el impacto ambiental que la producción conlleva. El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico. Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción frutihortícola. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía en la producción

Keywords: producción frutihortícola, modelado, riego, sustentable

1 Introducción

Las actividades hortícola y frutícola con sus particularidades que las diferencian del resto del sector agropecuario tienen un rol estratégico para el desarrollo local y regional de la provincia de Buenos Aires. Poder lograr la adquisición de datos de variables meteorológicas y el procesado de estos basados en lógica de control automático permitirá generar un modelo de asistencia para la ayuda de toma de decisiones de

productores frutihortícolas. Estas decisiones fomentarán el uso eficiente de los recursos ambientales, principalmente el aprovechamiento del recurso hídrico.

El modelo de asistencia estará basado en construcción de gemelos digitales, quienes representan de forma actualizada el comportamiento de las variables meteorológicas con el muestreo de datos para poder asistir a los productores. La adquisición de datos se realizará mediante estaciones meteorológicas automáticas (EMA). Estas estaciones existen en el mercado comercial de instrumentación por fabricantes especialistas en el tema o se pueden desarrollar mediante componentes de bajo costo.

A lo largo del artículo se contextualizará el trabajo, y se explicará en que área se aplica ámbito de aplicación como también los Objetivos de Desarrollo Sustentable que abarca. Posteriormente se hará una breve reseña de la actividad frutihortícola de la Provincia de Buenos Aires y del recurso de explotación hídrica. En la parte de desarrollo se mostrará como fueron construidas las EMAs y finalmente se podrá hallar las conclusiones del trabajo.

2 Conceptos generales

2.1 Contexto

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción frutihortícola. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía en la producción.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos los habitantes del planeta. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Para no dejar a nadie atrás, es importante que logremos cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030.¹

En los informes de País 2021 [1] y 2023 [2] figuran los seguimientos de los progresos hacia las metas de los 17 ODS. El nuevo marco de metas de los ODS e indicadores de seguimiento de la Agenda 2030 en la Argentina constituye una herramienta fundamental para una política de Estado: las metas asumidas constituyen una hoja de ruta para alcanzar un desarrollo sostenible incluyendo a toda la sociedad.

El trabajo se encuentra encuadrado en los siguientes objetivos

¹<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

- Objetivo 6: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- Objetivo 7: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos
- Objetivo 8: promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible; el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos
- Objetivo 9: construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación
- Objetivo 11: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles
- Objetivo 12: garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles
- Objetivo 13: adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

2.2 La producción Hortícola de la Provincia de Buenos Aires

La provincia de Buenos Aires es el motor productivo del país debido a que está conformada por ambientes muy heterogéneos que almacenan una riqueza muy significativa en cuanto al potencial de rendimiento y la calidad de la producción de los cultivos que sobre estos se realizan. [3]

En el interior de la provincia de Buenos Aires coexisten un conjunto de actividades productivas que son eslabones fundamentales en la suma de las actividades agropecuarias. En este sentido, la producción hortícola y la frutícola son dos de los principales cultivos intensivos que promueven el desarrollo local y regional de diferentes zonas bonaerenses. Estas dos actividades presentan características específicas que permiten diferenciarlas del resto del sector agropecuario y sobre las cuales se desagregan un conjunto de beneficios y desafíos para fortalecer la producción primaria, el agregado de valor, la generación de empleo y los circuitos cortos de comercialización.

La producción hortícola presenta una fácil adaptación edáfica, teniendo como posibilidad el desarrollo en todo el territorio bonaerense, pero se concentra en los alrededores de los centros urbanos donde los consumos de hortalizas son mayores. En la Provincia de Buenos Aires, los cordones hortícolas de mayor producción son los del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), La Plata, General Pueyrredón y el sudoeste bonaerense.

En su mayoría, la comercialización de hortalizas se produce en los mercados concentradores del AMBA, que sumado al Mercado Central de Buenos Aires, existen alrededor de 40 mercados que concentran la mayor producción del país.

A diferencia de la producción hortícola, la producción frutihortícola posee un mapa de desarrollo distinto. Los diversos climas de la provincia posibilitan el desarrollo de una amplia gama de frutales, tanto en el norte como en el sur. La comercialización de la fruta posee variaciones en los mercados internos y externos, pero a diferencia de la producción hortícola, la fruta es transportadas distancias mas largas, desde el productor hasta el mercado concentrados.

Tanto la producción hortícola como la frutihortícola presentan una importante demanda de mano de obra para el desarrollo de la producción por ciclos. El empleo de la tecnología para un manejo eficiente y sustentable de estos procesos aún está en deuda con la actividad frutihortícola.

Este tipo de procesos demandan una cantidad importante de mano de obra. Los productos son destinados al mercado interno en mayor medida, pero con una buena posición para realizar exportaciones de materia prima para poder desarrollar productos derivados a partir del valor agregado que aportan las nuevas tecnologías fomentando la eficiencia y la sustentabilidad. Este valor agregado difiere del desarrollo tecnológico y no es posible encontrarlo en las zonas agroecológicas.

Desde el Ministerio de Desarrollo Agrario (MDA) bonaerense se sabe que la fruta bonaerense es producida con alta calidad, hay un bajo reconocimiento de esta actividad en el interior de la provincia debido a que la actividad frutihortícola se la comprende como una actividad propia de las economías regionales sin la participación de diferentes ambientes de la zona bonaerense. En la actualidad se desconoce del potencial que existe para la producción frutihortícola, salvo en ambientes especiales como puede ser el kiwi en el sudeste o el durazno en el norte de la provincia. Respecto a la producción hortícola el MDA tiene como objetivo mejorar la tecnología presente en las unidades productivas, para fortalecer la infraestructura y prevenir la emergencia, pero también para hacer más sostenibles las labores productivas.

La provincia de Buenos Aires posee enormes potencialidades para el amplio espectro que contempla la frutihorticultura. En tal sentido, es importante destacar que concentra más del 30% de la producción de frutas y verduras del total nacional.

En lo que respecta a exportaciones y en orden de importancia, la provincia de Buenos Aires envía sus excedentes frutícolas a Italia, Estados Unidos, España, Brasil, Uruguay, Países Bajos, Rusia, entre otros.

La apuesta por producciones aún más sustentables constituye uno de los pilares fundamentales para alcanzar el desarrollo sostenible del sector, requiriendo acciones que generen equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental desde una óptica inclusiva. El mercado internacional de frutas y hortalizas representa una gran oportunidad para las producciones de la Provincia de Buenos Aires. El dinamismo del mercado internaciones, la relevancia de los mercados regionales de cercanía, la importancia que adquieren las variables como la calidad e inocuidad de los productos generan un nicho con grandes oportunidades para el crecimiento de las exportaciones del sector.

El Cinturón Hortícola Platense (CHP) es una franja productiva ubicada en el periurbano de la ciudad de La Plata, el más grande del país, donde se producen más de 72 tipos de hortalizas que alimentan a más de 14 millones de personas del conurbano bonaerense y otras regiones. En el último censo Hortiflorícola Provincial (2005) se relevaron 1047 establecimiento ocupando una superficie total de 5308 ha, que incluye superficie a campo y bajo cubierta. Desde dicha fecha, el crecimiento ha sido marcado. Así, tan sólo de producción protegida mediante análisis de imágenes Landsat se reconocen en 2016, 5462 hectáreas de invernaderos [4]

2.3 Gemelos Digitales

La definición comprende la idea de que una construcción informativa digital sobre un sistema físico podría crearse como un ente propio. La información recolectada será gemela de la información que se encuentra en el propio sistema físico y podrá ser vinculada con este sistema real durante todo el ciclo de vida del sistema.

El concepto del gemelo digital (Digital Twin) fue incorporado en la Universidad de Michigan [5] por Michael Grieves en una presentación a la industria en el año 2002. Allí se mencionó el concepto para la formación del gerenciamento del ciclo de vida de un determinado producto (Product Lifecycle Management (PLM)). La terminología ha cambiado con el tiempo, pero el concepto de modelo de Gemelo Digital se ha mantenido desde el origen. El PLM o Gestión del ciclo de vida del producto en el título significaba que esto no era es una representación estática, sino que los dos sistemas estarían vinculados en todo momento del ciclo de vida del producto.

El gemelo digital ha sido aceptado en una determinada diversidad de situaciones, por ejemplo la NASA lo ha utilizado en sus rutas de tecnologías aplicadas (Fig.1), en sistemas de mantenimiento, por ejemplo en el módulo SAP PM dónde se carga el árbol de mantenimiento de la planta industrial con todos los componentes que conforman la planta y sus características propias.

En el trabajo de Grieves & Vickers [6], el modelo digital fue dividido en etapas, las cuales fueron asociadas a las diferentes fases del ciclo de vida del producto. Las fases propuestas son:

- Digital Twin Prototype (DTP), prototipo de gemelo digital, que corresponde al prototipo del producto con las variantes o a todos los productos que pueden ser construidos
- Digital Twin Instance (DTI), instancia de gemelo digital, corresponde al producto individual por el mismo, o a los productos que son construidos.
- Digital Twin Agreggate (DTA), agregado de gemelo digital, es la suma de todos los DTI o la totalidad de los productos que se han construido.

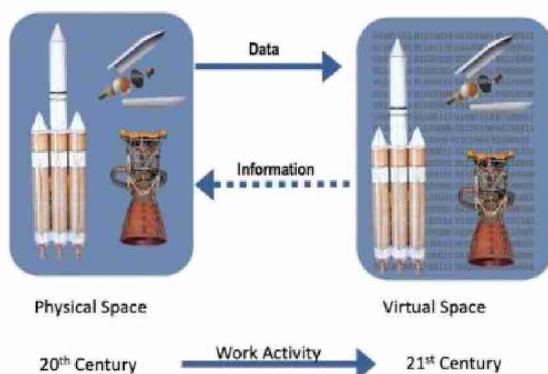


Figura 1: Modelo de Gemelo Digital extraída de [5]

Estas tres etapas generan un ciclo en los cuales existe una realimentación del gemelo diseñado.

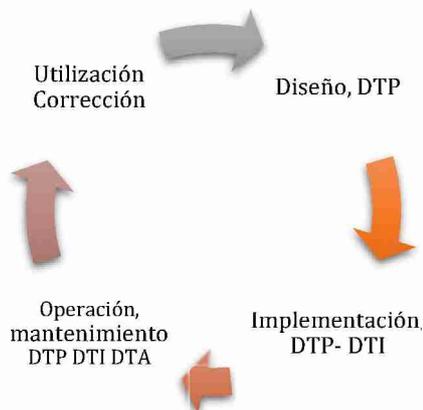


Figura 2: Etapas de diseño DT

Los tipos de gemelos digitales están asociados con las fases del ciclo de vida y son persistentes durante todo el ciclo de vida. El gemelo digital comienza al inicio del ciclo de vida de un nuevo producto y persiste durante todo el ciclo de vida, extendiéndose incluso más allá de la fase de eliminación cuando el gemelo físico ya no existe.

2.4 El agua como recurso natural

El agua es el recurso natural más importante que existe. No solo es la base fundamental de toda forma de vida, sino que también es fundamental para el desarrollo de diversas actividades económicas esenciales, que van desde la agricultura hasta las grandes industrias. El principal usuario de agua a escala mundial es la agricultura. El aumento en la demanda de alimentos causa un aumento en la producción de estos, lo que lleva a la expansión de las tierras regadas, que han causado no solo una mayor utilización de aguas superficiales, sino también una creciente explotación de aguas subterráneas. La única solución a este problema es que la gestión y regulación del recurso hídrico mejore.

De acuerdo con la ley 12.257, la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires posee las facultades necesarias para establecer las reglamentaciones sobre los sistemas de medición para la explotación del Recurso Hídrico.

2.5 Ciudades Inteligentes y Recurso Hídrico Eficiente

Existen diferentes formas de aplicar las tecnologías en las ciudades. Partiendo de una configuración de ciudades digitales hasta ciudades inteligentes. De ello depende la capacidad digital de cada ciudad en sí misma. Las ciudades digitales integran la tecnología en los sistemas de infraestructura de cada ciudad, mientras que las ciudades

inteligentes se basan en la Infraestructura de la ciudad digital para construir edificios inteligentes, sistemas de transporte, escuelas, empresas, público espacios y servicios públicos, e integrarlos en sistemas urbanos inteligentes. Las Ciudades Inteligentes despliegan inteligencia en sistemas urbanos al servicio del desarrollo socioeconómico y ecológico, y para mejorar la calidad de vida y abordar los orígenes de la inestabilidad social en sus habitantes.

El desarrollo de una ciudad inteligente es un desafío complejo. La integración de sistemas urbanos en un único sistema capaz de adaptarse y administrarse de forma autónoma es difícil. Las limitaciones en la interoperabilidad del sistema, la reutilización de datos los datos provistos por el gobierno de forma pública y la conciencia ciudadana son temas que disminuyen la capacidad para interconectar modelos analíticos.

Para poder construir el modelo de asistencia al productor frutihortícola para realizar un uso del recurso hídrico eficiente se deben obtener los datos meteorológicos necesarios y luego realizar su procesamiento.

3 Adquisición de variables ambientales

Para avanzar con lo planteado en el inciso anterior se deben recolectar los datos de interés, esta recolección de datos por parte de los productores puede hacerse de forma manual, realizando procedimientos de observación meteorológica o de forma automática con estaciones meteorológicas automáticas.

3.1 Variables por medir

Previo a avanzar con las variables ambientales, es necesario definir el concepto de medición. Se puede afirmar que MEDIR es comparar aquello que deseamos caracterizar con un elemento patrón (unidad de medida) y la caracterización vendrá dada por la cantidad de veces que el elemento bajo estudio contiene al elemento patrón. Para la Organización Meteorológica Mundial ²(OMM o WMO en inglés) medir es una serie de operaciones cuyo objetivo es determinar el valor de una magnitud. Resultado de una medición: valor atribuido a un mesurando (la magnitud física que se mide), obtenido por medición.

Las unidades en variables meteorológicas son:

- presión atmosférica, p , en *hectopascuales* (hPa);
- temperatura, t , en grados *Celsius* ($^{\circ}\text{C}$), o T , en *Kelvin* (K);
- velocidad del viento, tanto en las observaciones de superficie como en altitud, en *metros por segundo* (m/s);
- dirección del viento en grados *Dextrorsum* (en el sentido de las agujas del reloj) a partir del norte o en la escala 0-36, donde 36 es el viento del norte y 09 el viento del este ($^{\circ}$);
- humedad relativa, U , en *porcentaje* (%);

² <https://wmo.int/es>

- precipitación (cantidad total) en milímetros (mm) o en *kilogramos por metro cuadrado* (kg/m^2);
- intensidad de la precipitación, R_i , en *milímetros por hora* (mm/h o en *kilogramos por metro cuadrado por segundo* ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}$);
- equivalente en agua de la nieve en *kilogramos por metro cuadrado* (kg/m^2);
- evaporación en *milímetros* (mm);
- visibilidad en *metros* (m);
- irradiancia en vatios por metro cuadrado y exposición radiante en *Watt por metro cuadrado* (W/m^2 , J/m^2);
- duración de la insolación en *horas* (h);
- altura de las nubes en *metros* (m);

Para poder avanzar con el registro de datos se comentará muy brevemente cuáles son las variables por medir [7]:

- Temperatura: es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente éstas, mayor será la temperatura. Para poder llevar adelante la medición se utilizará el sensor dht11.
- Presión Atmosférica: La fuerza por unidad de superficie es lo que se denomina Presión, el aire que nos rodea, aunque no lo notemos, pesa y, por tanto, ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos debida a la acción de la gravedad. Para este caso se utilizará el sensor de presión modelo bmp 280.
- Humedad: El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido, y como sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se debe a que las condiciones físicas (temperatura y presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se dan normalmente en la atmósfera. En este caso se utilizará el mismo sensor dht11
- Humedad de suelo: Se denomina a la cantidad de agua por volumen de tierra que existe en un terreno. La cantidad o porcentaje de humedad del suelo depende de varios factores, como el clima, el tipo de terreno y las plantas que en él habitan. La importancia de la humedad para los organismos que viven en el suelo es clave, así como para gestionar el suministro de agua, controlar de forma eficiente las actividades agrícolas y predecir catástrofes naturales. Para este caso se utilizará un sensor de humedad de suelo resistivo
- Precipitación: La precipitación se define cómo el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Así definida, comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la escarcha y la precipitación de la niebla. Para realizar la medición de las precipitaciones se utilizará el método por pesaje.

3.2 Construcción de Estaciones Meteorológicas Automáticas

Las variables enunciadas en el punto 3.1 se pueden medir con estaciones meteorológicas comerciales. Existe una gran diversidad de marcas de estaciones comerciales, por ejemplo Davis®, Vaisala®, Campbell® que poseen costos elevados para su adquisición. Debido a que se posee un presupuesto financiado por la UNLP, se optó por realizar la adquisición de datos meteorológicos con estaciones de diseño propio.

En la figura 3 se muestra la construcción de la EMA realizada con la plataforma Arduino³, plataforma de desarrollo basada en una tarjeta electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador programable en distintas versiones según el microcontrolador seleccionado de cada modelo.



Figura 3: Diseño de EMA - Instalación de EMA

La estación construida ha sido instalada en la Escuela N°34, Manuel Dorrego⁴, zona rural de los alrededores de la localidad de Bavio, partido de Magdalena y forma parte de una de las actividades del proyecto de extensión “¿Cómo está el tiempo en tu escuela?”. Con la instalación de la EMA se busca fomentar una política pública mostrando que los contenidos que comprende la meteorología van ocupando espacios relacionados al estudio de la naturaleza y el cuidado del medio ambiente, como ser la reducción desmedida del riego.

³ <https://www.arduino.cc/>

⁴ <https://maps.app.goo.gl/7XfjFJXvuEwDacdFA>

Todas las variables monitoreadas son transmitidas a un servidor externo, en este caso se utiliza la plataforma ThingSpeak ⁵, que es servicio en una plataforma analítica que permite agregar, visualizar y analizar datos en tiempo real almacenados en la nube. Thingspeak provee visualizaciones de datos almacenados casi en tiempo real, acorde a las velocidades limitantes de la red. Los datos almacenados pueden ser ejecutados en un código de MATLAB y ser visualizados en la misma página. Los datos almacenados en la web servirán como inicio para comenzar con la construir gemelos digitales.

En las siguientes líneas se encuentra parte del código utilizado para registrar las variables meteorológicas utilizando un sensor de Humedad y Temperatura:

```

//Lee DHT 11
  humedad = dht.readHumidity();
  temperatura =
dht.readTemperature();
  Serial.print("Temperatura: ");
//Ch1
  Serial.print(temperatura);
  Serial.print(" °C ");
  Serial.print("Humedad: "); //Ch2
  Serial.print(humedad);
  Serial.println(" %");
delay(5000);
display.clear();
display.setCursor(0, 0);
display.print("Humedad: ");
display.setCursor(4, 1);
display.print(humedad);
display.print(" % ");
delay(espacio);
display.clear();
display.setCursor(0, 0);
display.print("Temperatura:
");

```

4 Conclusiones y trabajo a futuro

En este trabajo se expusieron las variables meteorológicas de interés y a su vez se logró desarrollar estaciones meteorológicas de bajo costo que permiten medir las variables, logrando almacenarlas en una nube gratuita para poder ser procesadas y de esa forma comenzar con la construcción de gemelos digitales.

Con este tipo de tecnologías se busca que los dispositivos instalados en los campos puedan fomentar y asistir a los productores a la toma correcta de decisiones cuando sucedan ciertas situaciones, por ejemplo exceso de humedad en el suelo o detección de precipitaciones. Además podrían colaborar con el análisis en tiempo real para proporcionar el análisis de pronósticos cada vez mas certeros con el paso del tiempo.

De la misma forma, acciones autónomas empleando Inteligencia Artificial, por ejemplo, con la detección de altas temperaturas y gestión de riego automatizado son uno de los ítems de trabajo a futuro en esta línea de investigación.

El primer autor del trabajo es dirigido por los dos coautores de este en la Tesis en curso para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Informáticas otorgado por la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata. La obtención de los datos de interés meteorológico permite conocer el punto de partida para que una vez finalizada la tesis de doctorado se fomente el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sustentable 6,7, 8 9, 11,12 y 13 que se plantearon en el contexto.

⁵ <https://thingspeak.com/>

Asimismo como política pública el autor y tesista dirige el proyecto de extensión UNLP “¿Cómo está el tiempo en tu escuela?” que permite intercambiar saberes con comunidades rurales para concientizar sobre el registro de variables meteorológicas y el cambio climático.

5 Referencias

- [1] Informe de País 2021. ODS Argentina. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/politicassociales/ods>
- [2] Informe de País 2023. ODS Argentina. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/politicassociales/ods>
- [3] Revista MDA. ISSN en línea 2718- 6660, Vol. 2, N.º 3, diciembre 2021, La Plata, Argentina
- [4] Alconada Magliano, M. M., Garbi, M., & Martínez, S. B. (2018). Producción intensiva flori-hortícola sustentable en el Gran La Plata.
- [5] Grieves, Michael. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. 10.13140/RG.2.2.26367.61609.
- [6] Grieves, Michael & Vickers, John. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- [7] Cátedra Instrumentos y Observación. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP.