



Juan S. Angarita-Zapata

Maestría en Ingeniería de sistemas e Informática.

Fundación Deusto (Bilbao, España)

js.angarita@deusto.es

<https://orcid.org/0000-0002-3104-9179>

Carlos A. Vásquez Cardozo

Maestría en Ciencias en Sistemas de Producción Animal

Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga, Colombia)

cvasquez@uis.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-0257-8829>

Hugo H. Andrade-Sosa

Maestría en Ingeniería de sistemas e Informática

Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga, Colombia)

handrade_sosa@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3534-7736>

Artículo de Investigación

Recepción: 16 de abril de 2018

Aprobación: 30 de noviembre de 2018

<https://doi.org/10.19053/22160159.v10.n22.2019.6197>



Revista de Investigación y Pedagogía
Maestría en Educación. Uptc

AMPLIANDO PROCESOS Y ESPACIOS DE APRENDIZAJE EN AGROINDUSTRIA CON DINÁMICA DE SISTEMAS

Resumen

Se propone una estrategia de integración del modelado y simulación con dinámica de sistemas a la formación en agroindustria ofrecida por el Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia en la Universidad Industrial de Santander. El diseño y la aplicación la estrategia se realizaron mediante experiencias-experimento, con docentes y estudiantes, en la asignatura de Manejo de Nutrición Animal del programa agroindustrial. Tales experiencias giraron en torno al uso en clase de ambientes de aprendizaje para complementar el conocimiento teórico mediante experimentación simulada que permitiera acercarlo a experiencias reales en campo. A partir de las experiencias-experimento realizadas y de la estrategia planteada es posible concluir que los ambientes de aprendizaje permiten desarrollar capacidades de toma de decisiones apoyadas en escenarios de simulación muy cercanos a la realidad de campo.

Palabras clave: agroindustria, aprendizaje, dinámica de sistemas, modelado dinámico, pensamiento sistémico.

EXPANDING LEARNING SPACES AND PROCESSES IN AGROINDUSTRY THROUGH SYSTEM DYNAMICS

Abstract

An integration strategy is proposed for modeling and simulation of System Dynamics in the Agroindustry program provided by the Institute of Distance Education and Regional Projection of the Universidad Industrial de Santander. The design and implementation of the strategy was carried out through an experiences-based experiment involving teachers and students enrolled in the Animal Nutrition Management course of the agroindustrial program. Such experiences were focused on the use of learning environments in class to complement theoretical knowledge by implementing simulated experiments enabling this knowledge to get closer to real experiences on-site. From this experiences-based experiment and the proposed strategy, it is possible to conclude that learning environments allow decision-making capacities to be developed with the support of simulation scenarios that are very close to the reality on the field.

Keywords: agroindustry, learning, system dynamics, dynamic modeling.

EXPANSION DES PROCESSUS ET DES ESPACES D'APPRENTISSAGE EN AGRO-INDUSTRIE PAR LA DYNAMIQUE DE SYSTÈMES

Résumé

Une stratégie d'intégration est proposée pour la modélisation et la simulation de la Dynamique de Systèmes dans la formation en Agro-industrie offerte par l'Institut d'Enseignement à Distance et de Projection Régionale à l'Universidad Industrial de Santander. La conception de la stratégie et sa mise en œuvre ont été réalisées moyennant une expérimentation basée sur les expériences des professeurs et des

étudiants inscrits au cours de Gestion de l'Alimentation Animale du programme agroindustriel. Telles expériences ont été concentrées sur l'usage d'environnements d'apprentissage en classe pour compléter la connaissance théorique par une expérimentation simulée permettant de rapprocher cette connaissance des expériences réelles sur place. À partir de cette expérimentation et de la stratégie proposée, il est possible de conclure que les environnements d'apprentissage permettent de développer des capacités de prise de décisions étayées sur des scénarios de simulation très proches de la réalité sur le terrain.

Mots-clés: agro-industrie, apprentissage, dynamique de systèmes, modélisation dynamique.

AMPLIANDO PROCESOS E ESPAÇOS DE APRENDIZAGEM NA AGRO- INDÚSTRIA COM DINÂMICA DE SISTEMAS

Resumo

Propõe-se uma estratégia para a integração da modelagem e simulação com dinâmica de sistemas à formação em agro-indústria oferecida pelo Instituto de Projeção Regional y Educação a Distancia na Universidade Industrial de Santander. O desenho e a aplicação da estratégia se realizaram mediante experiências-experimento, com docentes e alunos, na disciplina de Manejo da Nutrição Animal do programa agro-industrial. Tais experiências viraram em torno ao uso na classe de ambientes de aprendizagens para complementar o conhecimento teórico mediante a experimentação simulada que permitisse acercá-lo a experiências reais em campo. A partir das experiências-experimento feitas e da estratégia proposta é possível concluir que os ambientes de aprendizagem permitem desenvolver capacidades de toma de decisões com suporte em cenários de simulação muito pertos da realidade do campo.

Palavras-chave: agro-indústria, aprendizagem, dinâmica de sistemas, modelagem dinâmica.

Introducción

Este documento es producto de la investigación realizada por el Grupo SIMON de investigación y el Centro de Investigaciones para el desarrollo agroindustrial [Ciagro], con el propósito de integrar el modelado y la simulación con dinámica de sistemas [DS] a la formación técnica y tecnológica en agroindustria, ofrecida por la Universidad Industrial de Santander [UIS]. La pertinencia de dicha integración responde a la necesidad de acercar el conocimiento teórico a la experiencia práctica de procesos en agroindustria, teniendo en cuenta las condiciones económicas y de tiempo que limitan la experimentación en campo de la teoría adquirida en las aulas de clase. Sin embargo, antes de diseñar una estrategia como medio facilitador para alcanzar la integración DS-formación agroindustrial, es necesario abordar cuestiones tales como: ¿qué es la agroindustria? ¿Cómo se aprende formalmente la agroindustria? **¿Qué puede compensar la falta de experimentación en campo mencionada anteriormente?**

La agroindustria es la explotación agraria organizada mediante agroquímicos, cría, producción agrícola, distribución, maquinaria agrícola, procesamiento y suministro de semillas, comercialización y ventas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013). El avance de esta actividad económica depende en gran medida de la agregación de valor a productos de la industria agropecuaria, lo cual requiere que exista un conjunto de fundamentos teóricos que, acompañados de experimentación en campo con soporte tecnológico, permitan el continuo mejoramiento de la cadena de valor. En este contexto, el rol de la experimentación en campo es aplicar la teoría existente y, a su vez, permitir la reformulación de ella para la generación de nuevo conocimiento que conduzca a agregar valor a productos agropecuarios, forestales y otros recursos naturales biológicos.

El funcionamiento de la actividad económica agroindustrial requiere capital humano capacitado en las áreas de conocimiento anteriormente mencionadas. Tal proceso formativo se puede realizar mediante diferentes niveles de educación: técnico, tecnólogo y profesional. En cada nivel de formación se adquiere conocimiento teórico en el aula de clase; y además, dicha teoría se apoya en la experimentación en campo para abordar el componente práctico del conocimiento teórico, como

lo muestra la figura 1. Sin embargo, la experimentación tiene una serie de limitaciones asociadas a costos y tiempo, tanto de las instituciones privadas y/o públicas que ofrecen programas de formación agroindustrial como del recurso humano que accede a dichas ofertas educativas. En consecuencia, la experimentación en campo como pilar de la agroindustria es inconclusa dentro de los programas educativos.

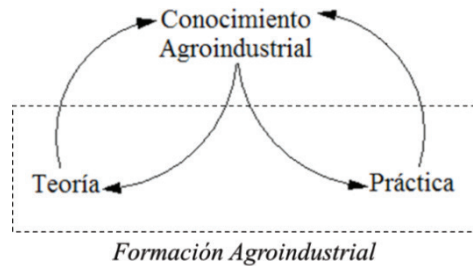


Figura 1. Relación teoría-práctica en el aprendizaje agroindustrial. Fuente: elaboración propia.

Frente a tal dificultad, los programas de formación en agroindustria optan por utilizar en las aulas simuladores tipo *caja-negra* para reproducir comportamientos y hacer pronósticos de fenómenos agroindustriales que por limitaciones de costos y tiempo no se pueden realizar en campo. A pesar de ello, el enfoque de simulación tradicional *caja-negra* ofrece poca reformulación del conocimiento teórico y no se centra en proveer explicaciones de por qué determinados fenómenos agroindustriales ocurren y, en consecuencia, dificulta el aprendizaje formal (Akçayir & Akçayir, 2017).

DS ofrece un enfoque de simulación de tipo *caja-blanca*, que mediante ambientes de modelado y simulación permite experimentar con las explicaciones que rigen los fenómenos agroindustriales y que, a su vez, dan cuenta del proceso de simulación observado en los simuladores *caja-negra*. De este modo, DS aporta al contexto del aprendizaje formal en agroindustria fundado en la explicación y corroboración de la experiencia (Gómez, 2017; Tsolakis & Sraia, 2017).

A continuación, se presenta la estrategia propuesta para apoyar la integración DS-formación agroindustrial, así como las herramientas y medios para el funcionamiento de la estrategia. Posteriormente, se presentan las experiencias realizadas, en la asignatura *Manejo de Nu-*

trición Animal del programa Agroindustrial adscrito al Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia - UIS, que soportan la formulación de la estrategia de integración aquí presentada.

¿Cómo integrar modelado y simulación con dinámica de sistemas a la formación en agroindustria?

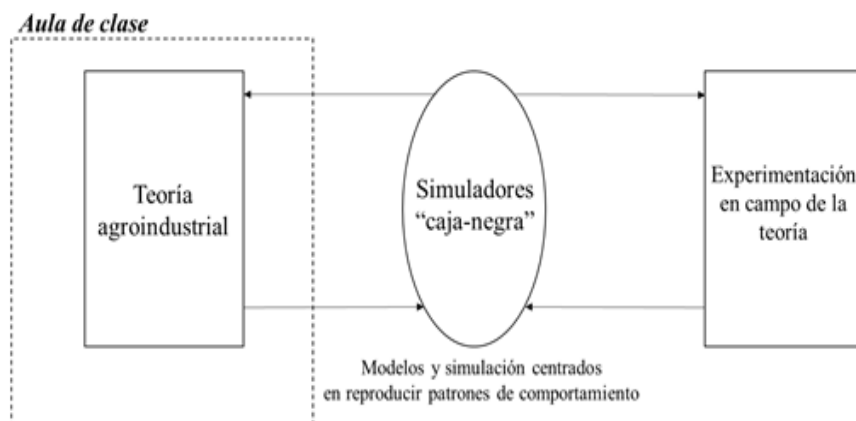


Figura 2. Relación teoría-práctica a través de simuladores *caja-negra*. Fuente: elaboración propia.

El uso de simuladores *caja-negra* en el programa agroindustrial IRED-UIS tiene como propósito proveer una experiencia simulada de la práctica como se observa en la figura 2. Sin embargo, dichos simuladores no son mediadores entre conocimiento teórico y práctico, y, por el contrario, se superponen con la práctica al reproducir comportamientos de fenómenos agroindustriales sin dar a conocer al usuario las explicaciones científicas en la cuales se soportan dichos fenómenos observados. De esta forma, se corre el riesgo de una repetición de la teoría al ser los simuladores altamente coherentes con el conocimiento teórico y, como posible consecuencia, podría haber poco enriquecimiento del aprendizaje formal.

La alternativa aquí propuesta se fundamenta en introducir ambientes de aprendizaje, basados en modelado y simulación con DS, para que dentro del aula de clase sea posible describir formalmente y de manera cualitativa diferentes fenómenos agroindustriales, respondiendo al

por qué sucede lo que se observa en la experiencia real (figura 3). Dichos simuladores *caja-blanca* permiten profundizar en la teoría con la simulación basada en la explicación, observar limitaciones, hablar acerca de teorías alterativas y hacer distinciones teórico-prácticas de la realidad agroindustrial. Sin embargo, el uso *per se* de estos ambientes de aprendizaje en el programa agroindustrial es tan solo un eslabón de la estrategia global que permite una completa integración de la DS a la formación agroindustrial.

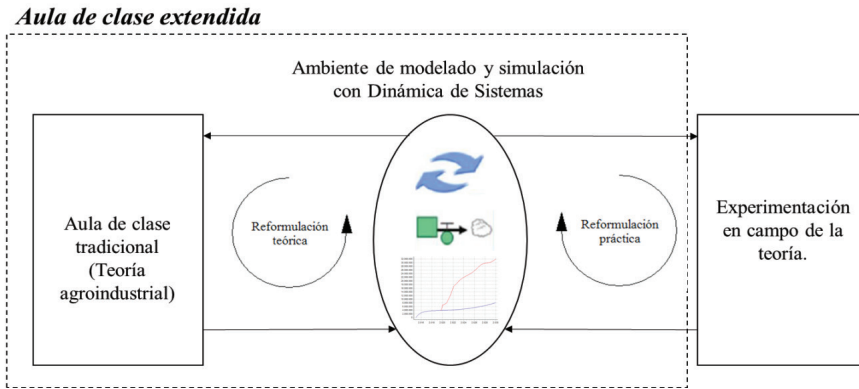


Figura 3. Aula de clase tradicional vs. aula de clase extendida mediante ambientes de aprendizaje con DS. Fuente: elaboración propia.

La estrategia de integración de la DS al programa de agroindustria se asume y se ejecuta en un proceso permanente de renovación, resultado de la aplicación y la reflexión sobre dicha aplicación. Por esto se dice que la estrategia y su aplicación se conciben en una dinámica de investigación acción como lo indica la figura 4.

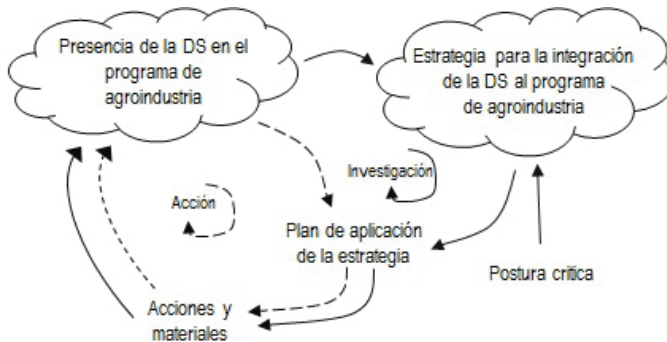


Figura 4. Dinámica de formulación de la estrategia. Fuente: elaboración propia.

La estrategia se funda en concebir la integración de la DS al programa de agroindustria como un proceso de contagio de los profesores con la DS, contagio que hay que sostener para que el mismo se mantenga hasta que se consolide como algo propio del docente, es decir, dicha integración se da en la medida en que los profesores asumen la DS (Andrade-Sosa, Navas, Maestre, & López, 2014). Además, la estrategia identifica los actores principales e inmediatos involucrados en el proceso, entre los cuales el docente es el principal determinante de los logros de la integración. El docente orienta la acción fundamental que es la clase con DS, la cual aquí se define como una experiencia-experimento simulada y ejecutable en el salón de clase usando mundos virtuales. Además, la estrategia debe definir los elementos mínimos que garanticen la sostenibilidad de su aplicación junto con la necesaria planeación que señale el camino y ponga las metas periódicas para docentes y estudiantes.

Nociones básicas constitutivas de la estrategia.

Mundos virtuales y ambiente de aprendizaje: entornos software que facilitan la interacción del usuario con las herramientas y modelos de DS, haciéndolas más atractivas, fáciles, con servicios y funcionalidades adicionales que aportan significativamente a la práctica educativa (Andrade-Sosa *et al.*, 2014).

Experiencias-experimento: En primer lugar, se considera al experimento como un ejercicio consciente y reflexivo —con registro y análisis de datos—, que tiene como objetivo la confirmación de hipótesis mediante observación de un fenómeno —experiencia—. Por otra parte, la experiencia es concebida como un hecho —fenómeno natural— que ocurre en el aula de clase, en donde se desarrollan actividades educativas con interacción entre docentes y estudiantes. Por lo tanto, para el diseño de una experiencia-experimento, se requiere de la declaración formal de elementos experimentales que orienten la observación sobre una experiencia real (Andrade-Sosa *et al.*, 2014).

La dinámica de contagio.

El *contagio* se da en el marco de una relación inicial del docente con la DS, que los promotores de la integración de la DS al programa de agroindustria aprovechan para identificar las formas significativas

como la DS puede aportar a las actividades académicas e investigativas del docente y le brindan el apoyo didáctico, tecnológico y metodológico para la definición, planeación, ejecución, evaluación de la experiencia académica apoyada y enriquecida con DS (Andrade-Sosa *et al.*, 2014). La experiencia se da en un proceso en el cual se apoya al docente y al estudiante en dos aprendizajes: el aprendizaje del objeto de estudio con el cual se integra la DS y el aprendizaje de la DS misma en un proceso de aprender y aprender a aprender. El contagio se da y se mantiene en una dinámica permanente de investigación-acción (figura 4), caracterizada por:

- Un continuo hacer y reflexionar sobre el hacer mismo y sus resultados, con la dedicación necesaria por parte del profesor y orientado al doble aprendizaje, el del fenómeno de estudio con DS y el de la DS.
- Un proceso de elaboración y reelaboración de los materiales pertinentes para cada experiencia de integración —experiencia-experimento—.
- Un apoyo permanente al docente para la identificación de posibles experiencias y la planeación, la ejecución y la evaluación de cada una de estas.
- La socialización de las experiencias, dándolas a conocer entre pares y docentes a través de seminarios que garanticen la estrategia de contagio anteriormente mencionada. Dicho contagio corresponde al proceso en el cual el ejemplo de un profesor contagia a otro en una dinámica de propagación —haciendo referencia a una metáfora con el contagio de una enfermedad transmisible—.
- Asumir la dinámica de contagio en todo el programa de agroindustria como el resultado de la sinergia producto del hacer de los diferentes actores comprometidos con la estrategia de integración de la DS al programa.

Actores en la estrategia de contagio.

Los actores son los involucrados en la formulación, aplicación, apropiación y reformulación de la estrategia en el marco de una dinámica de investigación acción. Los actores en la experiencia que en este caso ilustra la propuesta son:

- El programa de agroindustria: Se asume como el promotor permanente del contagio. El coordinador del programa será el responsable de la ejecución de la estrategia y el primer interesado en este proceso de integración.
- Los docentes: son los que se contagian y contagian a otros pares en la medida que le encuentran significado a la integración de la DS a sus actividades como docente de agroindustria. El número de profesores que usen DS en sus clases y la calidad y cantidad de ese uso serán la medida de la efectividad de la estrategia.
- Los estudiantes: son los beneficiarios de la integración y resultan contagiados por la labor del docente.
- Investigadores en DS, rol asumido por el grupo SIMON de investigación: facilitadores del proceso de integración — interpretando las necesidades del proceso y de cada profesor para aportar con productos tecnológicos pertinentes— y participantes en la redefinición de la estrategia, la elaboración de materiales y el acompañamiento en la ejecución de experiencias-experimento.
- Especialistas en agroindustria, rol asumido por Ciagro: expertos en procesos agroindustriales y facilitadores para proveer los espacios donde se realizan las experiencias-experimento dentro del Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia.

La integración en la acción con clases como experiencias-experimento.

Se aconseja que la actividad académica mediante mundos virtuales se oriente a una dinámica que conlleve a enriquecer continuamente las experiencias-experimento. De esta forma, la metodología que se propone se estructura en tres etapas, como se observa en la figura 5. Es importante resaltar que dicha metodología tiene dos propósitos. En primer lugar, orienta el paso a paso mediante el cual se planearon, ejecutaron y enriquecieron las experiencias-experimento aquí presentadas, lo cual es coherente con los lineamientos establecidos en el Proyecto Educativo del Programa Agroindustrial, donde se establece esa misma metodología de tres etapas para estructurar y ejecutar las actividades docentes dentro de las aulas de clase. Por otra parte, la metodología expuesta en la figura 5 se encarga de enriquecer la propuesta de integración de DS-programa en agroindustria, al

permitir su constante reformulación y mejoramiento en la medida que esta es asumida por los actores encargados de su difusión dentro de los programas de formación.



Figura 5. Metodología para planificación-ejecución de experiencias-experimento y mejoramiento de la estrategia de integración. Fuente: elaboración propia.

En la primera etapa, *planificación*, se diseña la estructura general de la experiencia-experimento a realizar. Se elaboran los contenidos y actividades a discutir en el aula de clase con la participación activa del docente como principal agente de difusión de la estrategia de integración. Además, se elaboran y preparan los materiales necesarios para el desarrollo de la clase —mundos virtuales, modelos y guías de trabajo—, junto con la definición de roles para las personas encargadas de la experiencia. Los roles son: experto en la temática agroindustrial —docente de la asignatura—, experto en modelado y simulación, auxiliar de modelado y observador.

Con la planificación terminada, en una segunda etapa se desarrolla la fase de *ejecución*, en la cual se deben contemplar como mínimo los roles de docente, auxiliar y observador. En la ejecución se da cumplimiento a las actividades planificadas para la experiencia. Simultáneamente, se realiza el registro de observación para que en la tercera etapa, *reflexión*, se cuente con la documentación que permita la reformulación del diseño de las actividades en función de reconstruir los materiales guías de la experiencias de integración de la DS, que cada vez sean más apropiados a los conocimientos que se esperan construir en el aulas de clase en función del modelo educativo y del programa de agroindustria.

La sostenibilidad de la integración con la estrategia de contagio.

La efectividad de la estrategia de integración de la DS al programa de agroindustria del IPRED no solo depende de las definiciones formales de la estrategia misma, sino también de las acciones pertinentes que garanticen la sostenibilidad de la aplicación continua, a mediano

y largo plazo. Las siguientes son recomendaciones básicas para la sostenibilidad, que se espera enriquecer con la experiencia misma del programa en este proceso:

- El profesor lo determina todo: el objetivo de los promotores de la estrategia de contagio es el profesor. El punto de partida es su disponibilidad para asumir la DS. Esto implica crear todas las condiciones que le faciliten al profesor asumir este reto, brindándole formación e información sobre los logros que se tengan en la aplicación de la estrategia, junto con recursos, materiales y asesoría de expertos en modelado, principalmente para el diseño de sus actividades, así como un auxiliar que los acompañe en las actividades con los estudiantes, principalmente cuando vive sus primeras experiencias.
- El compromiso de la coordinación del programa de agroindustria es determinante: una innovación de carácter pedagógico y tecnológico que puede modificar sustancialmente la práctica docente, no es tarea de corto plazo y menos de logros inmediatos y duraderos. Por esto, es necesario que la coordinación del programa asuma la integración de la DS como una tarea a largo plazo, en la cual, en sus primeros años, habrá que invertir importantes esfuerzos y recursos, para tener resultados a mediano plazo y crecimiento importante a largo plazo. Para tal fin se recomienda que los planes sean mínimo a 5 años.
- Los asesores-promotores externos: la sostenibilidad de la aplicación de la estrategia y su enriquecimiento en la práctica, junto a la elaboración de micromundos de DS y demás materiales que los profesores necesiten para el desarrollo de sus actividades académicas son un componente fundamental de la estrategia misma. El apoyo externo con expertos en DS es indispensable para este fin.
- Los auxiliares docentes: una innovación didáctica y un cambio pedagógico, si es el caso, generan inseguridad en el profesor, quien puede percibir la exigencia de llevarla a la clase como una carga adicional en sus labores, que normalmente desarrolla con tranquilidad y destreza. Por esto, es muy importante que al docente interesado se le brinde la colaboración fuera y dentro de la clase, de tal forma que se libere de miedos y de la percepción de carga adicional, para que se sienta tranquilo y cómodo, de modo que

pueda apreciar los aportes de la DS a una mejor y más efectiva docencia. Esto constituirá un importante estímulo para continuar con la innovación.

Elementos para la definición del plan general de aplicación de la estrategia.

Para la integración de la DS al programa de formación en agroindustria, con la guía de la estrategia aquí propuesta, se recomienda:

- Que exista un plan de trabajo orientado a la integración de la DS a los programas de agroindustria, con objetivos a corto y mediano plazo asignándole el tiempo prudente para su realización.
- Contar con una coordinación de la ejecución del plan constituida por al menos un miembro representante de: la coordinación del programa, de los profesores, de los auxiliares docentes y del grupo externo asesor en DS.
- Promover la investigación y desarrollo: es necesario contemplar, además de las actividades académicas y de difusión y formación docente, las actividades de investigación que den muestra del papel de la DS a ese nivel, para que se fortalezca todo el proyecto.
- Formular metas para cada semestre: es necesario especificar metas medibles semestre a semestre y que sean plenamente logrables.
- La reflexión al realizar cada una de las actividades, y con ellas la reflexión sobre la aplicación de la estrategia misma, debe ser una práctica continua en procura de fortalecer los materiales y la estrategia.
- Que en cada informe de actividades se contemple la reflexión sobre las experiencias, materiales y sobre la estrategia misma.

Métodos y materiales: ¿con qué realizar la integración propuesta?

DS como lenguaje para la representación de conocimiento.

La DS surge en los años 60 en el Instituto Tecnológico de Massachussets, liderada por Jay Wright Forrester, al aplicar el concepto de realimentación de la teoría de control para comprender la complejidad de fenómenos en la industria.

La DS es una alternativa para dar cuenta de la complejidad dinámica de los fenómenos explicables en términos de sistemas realimentados, sistemas que en el proceso de modelado finalmente se representan mediante ecuaciones diferenciales lineales o no lineales, según el caso, con el complemento de la lógica fuzzy, las redes neuronales u otras herramientas matemáticas de representación del conocimiento.

Con el paso de los años, la DS ha ampliado su campo de aplicación, desde fenómenos físicos hasta fenómenos sociales, pasando por los complejos problemas de la dinámica urbana (Chhipi-Shrestha, Hewage, & Sadiq, 2017), los negocios (Abdelkafi & Täuscher, 2016), la educación (Akçayir & Akçayir, 2017), la economía y el medio ambiente (Sun, Liu, Shang, & Zhang, 2017), la agroindustria (Ojeda & Andrade-Sosa, 2018), entre otros.

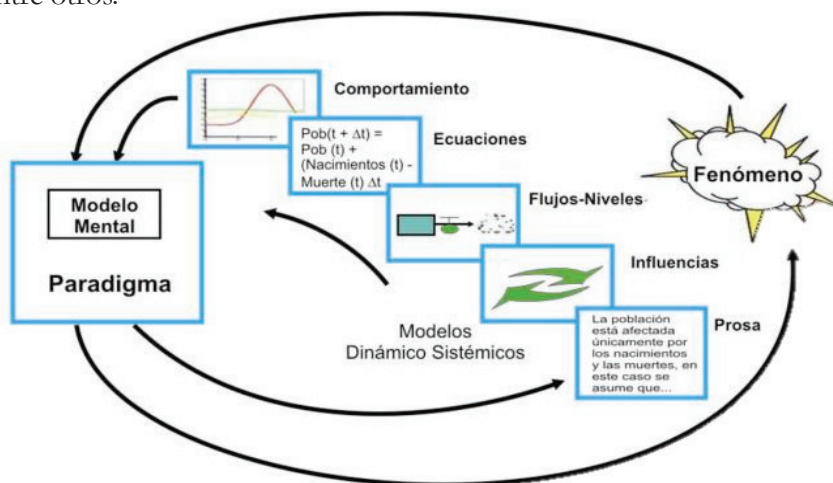


Figura 6. Lenguajes de la DS. Fuente: Andrade-Sosa, H. H., Dyner, I., Espinosa, A., López, H., & Sotaquirá, R. (2001). Pensamiento sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.

La DS se presenta como un lenguaje de representación del conocimiento (figura 6) según Andrade-Sosa, Dyner, Espinosa, López, y Sotaquirá (2001), los cuales trabajan en el desarrollo de un modelo, mediante un software especializado. En esta propuesta se hace uso de *Evolución* (Andrade-Sosa, Lince, Hernández & Monsalve, 2010), el cual realiza la evaluación de las ecuaciones, que escritas de la forma tradicional pueden ser poco comprensibles y no solucionables por métodos

analíticos. Los diferentes lenguajes de la figura 6 nos ofrecen niveles de representación dinámico-sistémica del modelo del fenómeno en estudio, que son complementarias y de diferente nivel de abstracción, desde el más descriptivo —el del lenguaje en prosa—, pasando por el diagrama de influencias, el diagrama de niveles y flujos, hasta el más abstracto —el lenguaje de las ecuaciones—. Esta variedad de representación de la dinámica del fenómeno constituye la riqueza de la DS para la explicación dinámico-sistémica del fenómeno.

La *prosa* es una descripción del fenómeno en lenguaje natural que permite apreciar las variables y sus relaciones. El *diagrama de influencias* es un esquema donde se integran las variables identificadas, que muestra con flechas la manera como cada una influye a las demás, conformando ciclos de realimentación de refuerzo positivos y compensadores o negativos. Los *flujos y niveles* son una representación basada en elementos propios de la DS que representan ecuaciones diferenciales lineales o no lineales (figura 7).

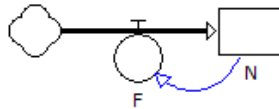


Figura 7. Estructura Básica de Flujo-Nivel. Fuente: elaboración propia.

La relación entre la variable Flujo (F) y la variable Nivel (N) de la figura 7 equivale a una ecuación diferencial que el software de DS asume en términos de una ecuación en la notación de Euler así:

$\frac{d(N)}{dt} = F(t)$	(1)
$N(t + \Delta t) = N(t) + F(t) * \Delta t$	

Además de flujos y niveles, en un modelo de DS pueden estar presente otros elementos y relaciones que se describen en términos de parámetros, variables auxiliares y exógenas, retardos, multiplicadores, clones y sectores (Andrade-Sosa *et al.*, 2001).

La figura 6, además, muestra que el estudio dinámico sistémico de un fenómeno —o más explícitamente de algo enigmático en el fenómeno— se desarrolla en un proceso cíclico de construcción de cobertura y complejidad creciente, hasta lograr un nivel de representación que

satisface los propósitos del proceso de modelado, entendido este propósito como de solo aprendizaje y/o de construcción de un útil para la intervención. Cuando el énfasis está en el aprendizaje, los modelos son representaciones de los modelos mentales del autor y en estos casos son útiles en cualquier nivel de acabado de los mismos. Cuando el modelo pretende ser un útil para la intervención, se demanda adicionalmente un proceso de evaluación y validación matemática del modelo para poder contar con una herramienta lo suficientemente rigurosa y confiable para el pronóstico y la toma de decisiones.

Además, el proceso de modelado señalado, que permite la interpretación dinámico-sistémica del fenómeno en estudio, le facilita al modelador desarrollar un creciente dominio de la DS, junto con la apropiación progresiva del paradigma dinámico sistémico, el cual se funda en la idea de que el mundo está cambiando permanente y lo que lo constituye puede ser explicado en términos de sistemas realimentados. Es de señalar que la combinación de los efectos producidos por los diferentes ciclos de realimentación permite observar y explicar la complejidad dinámica del sistema, la cual en varias oportunidades contradice lo esperado por la intuición humana, revelando así el aporte de la DS para abordar y explicar la complejidad.

Mundos virtuales para el aprendizaje.

Dado un modelo dinámico-sistémico, es posible preguntarse: ¿por qué sucede tal o cual comportamiento? o ¿qué puede suceder bajo x o y condiciones —escenario—? En los dos casos, la respuesta con el modelo estará dada en términos de la estructura de realimentación que lo constituye y le permite recrear el cambio del fenómeno en estudio.

La capacidad de obtener respuestas con los modelos dinámico sistémicos revela la propiedad de la DS como medio para la construcción de mundos virtuales con los cuales podemos establecer interacciones simuladas, a semejanza como lo hacemos de manera directa con el fenómeno; interacciones que nos ayudan a comprender mejor el mundo real, es decir, a aprender en la medida que modificamos de manera dirigida nuestros modelos mentales acerca de la realidad. De esta forma, los modelos de DS, junto con una interfaz apropiada, permiten construir mundos virtuales que surgen como útiles para el aprendizaje y la toma de decisiones fundadas en la explicación dinámico-sistémica del fenómeno.

Experiencias que soportan la formulación de la estrategia

La formulación de la estrategia de integración DS-formación agroindustrial emerge en el marco de las experiencias realizadas en la asignatura de Manejo de Nutrición Animal del programa agroindustrial IPRED-UIS. Allí se diseñó y se puso en marcha un ambiente virtual con DS para el aprendizaje del sistema productivo de peces en estanque con el propósito de ayudar a los docentes y estudiantes en la enseñanza y comprensión del fenómeno del sistema productivo respectivamente. Para esto se utilizaron modelos de simulación realizados con DS de cobertura y complejidad creciente, en donde se inicia con un modelo básico de crecimiento y se aumenta en complejidad y cobertura a medida que se profundiza en la temática.

Cada actividad realizada siguió la metodología presentada en la figura 5 con la participación activa de los docentes en cada de las tres etapas. En la etapa de planificación se diseña la estructura general de la actividad con los contenidos y recursos; la etapa de ejecución corresponde al desarrollo de la actividad con los estudiantes; finalmente, en la etapa de reflexión se evaluaron los resultados de la actividad con el objetivo de rediseñar la actividad propuesta para obtener cada vez mejores resultados.

A continuación, se presentan los seminarios y experiencias-experimentos realizados, además de especificar en detalle las tres etapas fundamentales tenidas en cuenta para la ejecución de las cuatro actividades anteriores —planeación, ejecución, reflexión—.

Tabla 1
Seminarios y Experiencias-Experimentos realizadas

Seminarios docentes	
<i>Seminarios docentes</i>	<i>Fecha ejecución</i>
Seminario #1	9 de agosto de 2014
Seminario #2	15 de agosto de 2014
Experiencias-experimento estudiantes	
<i>Experiencias-experimento estudiantes</i>	<i>Fecha ejecución</i>
Experiencia-experimento #1	22 de noviembre de 2014
Experiencia-experimento #2	29 de noviembre de 2014

Es importante aclarar que las actividades realizadas son de dos tipos: seminarios con docentes y experiencias-experimento con estudiantes. Esto tiene el propósito de diseñar una estrategia que permita introducir el modelado y la simulación con DS como elemento de apoyo en el aprendizaje de procesos agroindustriales, de tal forma, que se involucren en dicha estrategia los dos actores fundamentales en la planificación de clases con DS, docentes y estudiantes.

Planeación.

Consideraciones iniciales.

La integración DS-formación agroindustrial es asumida por docentes, estudiantes e investigadores. Por consiguiente, estos actores deben tener conocimiento sobre procesos agroindustriales. Así pues, la dinámica de sistemas surge como instrumento que apoya la construcción de conocimiento en este contexto particular.

Situación problema.

¿Cómo diseñar y construir una estrategia tecnológica y didáctica que facilite el uso de modelos construidos con DS en el programa de agroindustria en el IPRED?

Hipótesis experimental.

Con seminarios para docentes, en los cuales reciben nociones fundamentales de DS e interactúan con modelos de enfoque estructural en procesos agroindustriales, los docentes identifican oportunidades para introducir y utilizar DS a modo de herramienta que apoye y facilite el desarrollo de sus clases asociadas a temáticas agroindustriales. Al garantizar la capacitación docente en DS, se procede a realizar experiencias con estudiantes en el área de Manejo de Nutrición Animal. Lo anterior genera aprendizaje que complementa las actividades desarrolladas tradicionalmente en esta asignatura y, además, mejora la toma de decisiones argumentada en la planificación de proyectos agroindustriales.

Las experiencias-experimento se desarrollan en el marco de actividades de aula con participación docente y el uso de modelos operados a través de mundos virtuales y guías que contienen orientaciones para la acción de los estudiantes junto con preguntas experimentales que

incentivan la reflexión y el análisis, a partir del uso de los mundos virtuales, con el propósito de afianzar conocimientos asociados a procesos agroindustriales.

Ambiente informático y herramientas de modelado-simulación con DS.

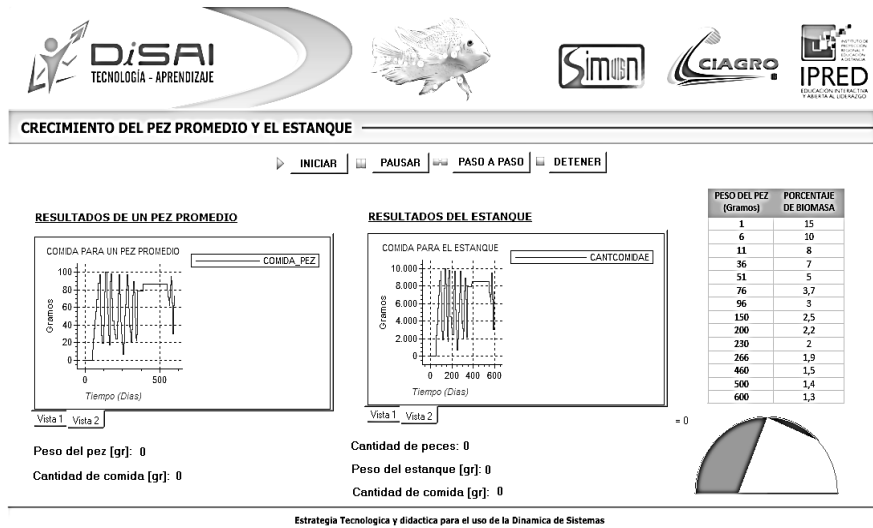


Figura 8. Simulador modelo crecimiento de peces en un estanque con variación manual del alimento suministrado. Fuente: elaboración propia.

Para el desarrollo de los seminarios y experiencias-experimento se utilizan ambientes informáticos conformados por modelos de simulación con DS —construidos con el software Evolución elaborado por el grupo SIMON de investigación—, operados por medio de una interfaz sencilla que permite modificar parámetros del modelo y observar resultados de simulación en gráficas XY. Un ejemplo de estos ambientes informáticos es el presentado en la figura 8.

Diseño de experimento.

Para las experiencias, con apoyo docente, se elaboró un guion que define el propósito, los momentos y actividades a realizar, los medios y materiales, la orientación para su uso, la definición y descripción de los roles que tendrán en la actividad los directos responsables de coordinar y desarrollar la misma, así como, los aprendizajes que se

desean alcanzar con la ejecución de la experiencia. Posteriormente, se define una estructura general de la experiencia-experimento, donde se organizan las actividades en el orden de desarrollo, junto con el tiempo para realizarlas, y además se especifican los roles en la participación.

El desarrollo de la experiencia está a cargo del docente con apoyo del equipo investigador. De igual forma, se realiza observación experimental a cargo de un experto que no interviene en la ejecución de las actividades, quien se encarga de documentar situaciones relevantes en relación con la actuación de los docentes y los estudiantes. Además, los estudiantes reciben guías experimentales que orientan su participación durante la actividad. De esta forma, tras finalizar la actividad, los investigadores y los docentes reflexionan acerca de los resultados alcanzados con base en los registros de observación y los datos suministrados por los estudiantes en el desarrollo de las guías.

Por otra parte, el desarrollo de los seminarios con docentes se ejecuta siguiendo el diseño experimental anteriormente descrito. La diferencia fundamental con respecto a las experiencias-experimento realizadas con estudiantes radica en el propósito de la actividad, debido a que con docentes se pretende identificar oportunidades de integración de la DS en el desarrollo de sus clases.

Ejecución.

Materiales y medios.

Para cada seminario y experiencia-experimento realizada hasta el momento se usaron recursos que favorecen la consecución del propósito de aprendizaje establecido.

Cada actividad está demarcada por un momento introductorio por parte de los docentes e investigadores. Posteriormente, los docentes presentan el conocimiento teórico de la temática a abordar a través del ambiente de aprendizaje, que está constituido por un modelo operado a través de un simulador y una guía que orientan las acciones de los estudiantes. Con estos materiales se pretende alcanzar el propósito de cada actividad.

Los medios y materiales que hasta el momento han sido utilizados en las actividades desarrolladas son especificados a continuación:

Tabla 2
Materiales y medios de los seminarios y experiencias-experimentos realizadas.

Seminarios y Experiencias-experimento	Medios y materiales
Seminario #1	Modelo crecimiento pez y simulador Guía con preguntas experimentales
Seminario #2	Modelo crecimiento pez y simulador
Experiencia-experimento #1	Modelo y simulador crecimiento pez con condiciones de alimentación automática
	Modelo y simulador crecimiento pez con condiciones de alimentación operadas por el estudiante
	Guía de trabajo y preguntas modelo-simulador condiciones de alimentación automática
Experiencia-experimento #2	Guía de trabajo y preguntas modelo-simulador condiciones de alimentación operadas por el estudiante
	Modelo y simulador crecimiento pez con condiciones de temperatura automática
	Modelo y simulador crecimiento pez con condiciones de temperatura operadas por el estudiante

Acción en campo.

En el marco de la integración DS-formación agroindustrial se realizaron cuatro actividades dirigidas por los investigadores, siempre en compañía de docentes. En la siguiente tabla se relacionan las experiencias observadas con las respectivas asistencias a cada uno de ellas:

Tabla 3
Asistencia a seminarios y experiencias-experimentos realizadas.

Fecha	Tipo de actividad	Asistentes	No. de asistentes
9 de agosto de 2014	Seminario	Docentes	13
15 de octubre de 2014	Seminario	Docentes	3
22 de noviembre de 2014	Experiencia-experimento	Estudiantes de Manejo de nutrición animal	13
29 de noviembre de 2014	Experiencia-experimento	Estudiantes de Manejo de nutrición animal	9

En cada experiencia se aplicó la técnica de observación experimental por parte de un experto, cuya función durante todo el desarrollo de las actividades se concentró en observar, percibir y registrar en el formato experimental diseñado por los investigadores el comportamiento de los

diferentes actores de las actividades. Además, siempre se procuró que cada asistente contara con un computador para garantizar el trabajo individual y autónomo, acompañado de las guías experimentales que fueron entregadas.

Reflexión.

Como trabajo posterior a las cuatro actividades mencionadas, se analizaron los registros de observación de ellas, así como los resultados de las guías experimentales de trabajo —teniendo en cuenta que estas guías solo fueron entregadas en una actividad con docentes y en una actividad con estudiantes—. A continuación, se mencionan los resultados y observaciones más significativas tanto para docentes como estudiantes.

Resultados con docentes.

Los docentes ven los modelos más como herramientas—instrumentos— para hacer cosas de interés con un espíritu de optimización más que como un medio para el aprendizaje y para la comprensión de la complejidad. Tampoco los ven como un recurso para presentarles a los estudiantes su orientación de cómo asumir el proyecto. Teniendo en cuenta las preguntas no contestadas en la guía experimental, se evidencia que no alcanzan a vislumbrar qué podrían necesitar para desarrollar sus contenidos de clase. Lo anterior es corroborado con la asistencia de docentes al seminario 2, la cual disminuyó significativamente con respecto al primer seminario. Sin embargo, en el desarrollo del seminario 2, los docentes involucrados expresaron su deseo por construir modelos que se adapten a las necesidades de sus clases y, además, recalcaron la importancia en la construcción de estos modelos, ya que a través de ellos es posible mejorar la toma de decisiones en la formulación de proyectos agroindustriales, específicamente haciendo uso de las gráficas que muestran los resultados de simulación del modelo.

Resultados con estudiantes.

Tras realizar dos experiencias, se identifican estudiantes que presentan dificultades en la interpretación de gráficas XY, lo cual dificulta el análisis y reflexión de los resultados de simulación del modelo y, en general, puede afectar el proceso de aprendizaje de estos estudiantes en actividades futuras, debido a la ausencia de este presaber cognitivo. Sin embargo, durante el desarrollo de las actividades estas falencias fueron

solventadas con la participación activa y asistencia de los investigadores expertos en modelado y simulación.

Por otra parte, observando las respuestas dadas por los estudiantes en las guías experimentales donde se les solicitó realizar acciones concretas con los simuladores y posteriormente reflexionar sobre los resultados observados, es posible concluir que los estudiantes identifican en los modelos una herramienta que puede favorecer la toma de decisiones en la planificación de proyectos agroindustriales, ya que pueden observar relaciones imperceptibles a simple vista entre variables fundamentales tales como costos y utilidades en procesos de alimentación de peces para su crecimiento y venta.

Además, se evidencia interés en algunos estudiantes por continuar manipulando los modelos a través de trabajo en casa para profundizar, debido a que al final de la segunda experiencia algunos estudiantes solicitaran el instalador del software de modelado y simulación — Evolución—, así como los modelos utilizados en la actividad.

Conclusiones

En primer lugar, a partir de las experiencias-experimento realizadas y la estrategia planteada, es posible concluir que los ambientes de aprendizaje permiten desarrollar capacidades de toma de decisiones apoyadas en escenarios de simulación muy cercanos a la realidad de campo, que se generan a partir de situaciones muy cercanas a la realidad, representadas a través de modelos y sus simulaciones. De igual forma, aunque los ambientes de aprendizaje utilizados se desarrollaron para la asignatura de Manejo de Nutrición Animal —perteneciente al Área Pecuaria—, la flexibilidad de DS permitiría la creación de nuevos ambientes de aprendizaje para asignaturas pertenecientes a las demás áreas del programa agroindustrial: área agrícola, área agroindustrial y área administrativa. En dichos casos, la estrategia aquí presentada continuaría con su proceso de reformulación continuo con el apoyo de directivas del programa, docentes, estudiantes e investigadores, como actores principales no solo de la integración DS-formación agroindustrial, sino como directos responsables de la sostenibilidad de dicha integración a lo largo del tiempo.

Por otra parte, las experiencias-experimento que sustentan esta propuesta evidenciaron que el espacio del aula, en la cual el estudiante

construye su conocimiento en función del saber teórico representado en términos de las explicaciones que le presenta el docente y las fuentes bibliográficas, se amplía ganando significado cuando contempla los ambientes virtuales de experimentación simulada acerca al estudiante a la experiencia real y le permite aprender a tomar decisiones en contexto y con fundamento en la explicación científica, es decir, desarrollar competencias. Así mismo, el aula ampliada por la experimentación simulada reorienta la experimentación real para que la misma se desarrolle en menos tiempo del tradicional y sobre todo con la guía del conocimiento, como fundamento para la toma de decisiones en contexto.

Las experiencias-experimento y la propuesta de integración surgida de las mismas, muestran que la aceptación de la DS y sus ambientes de aprendizaje, con modelos de simulación para la experimentación virtual, es amplia por parte de los profesores, pero no siempre logran un nivel de apropiación que garantice la sostenibilidad de un proyecto educativo soportado en dichos ambientes. Lo anterior demanda la participación de especialistas en DS para apoyar la construcción de materiales y el acompañamiento del profesor con auxiliares, así como el fomento de redes de comunidades de práctica, en procura de construir condiciones que garanticen la sostenibilidad de esta innovación educativa.

Contribuciones y agradecimientos

El presente artículo es resultado del proyecto de investigación titulado *Diseño de una estrategia tecnológica y didáctica que facilite el uso de modelos de simulación con dinámica de sistemas en el programa Agroindustrial del IPRED*, el cual fue financiado por la Universidad Industrial de Santander mediante convocatoria interna en la modalidad de articulación docencia, investigación y extensión —código identificación proyecto: ART DOCEN-INVES-EXT 2014—. Los autores del presente artículo agradecen las contribuciones realizadas por la ingeniera Natalia Martínez en la planeación, formulación y ejecución del proyecto financiado. Además, agradecemos a docentes y estudiantes vinculados al programa agroindustrial del IPRED, cuya participación fue vital tanto para la ejecución del proyecto como la elaboración del presente artículo.

Referencias

- AKCAYIR, M., & AKCAYIR, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- ABDELKAFI, N., & TÄUSCHER, K. (2016). Business Models for Sustainability From a System Dynamics Perspective. *Organization & Environment*, 29(1), 74–96. <https://doi.org/10.1177/1086026615592930>
- ANDRADE-SOSA, H., DYNER, I., ESPINOSA, A., LÓPEZ, H., & SOTAQUIRÁ, R. (2001). *Pensamiento sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad*. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- ANDRADE-SOSA, H., LINCE, E., HERNÁNDEZ, A., & MONSALVE, A. (2010). Evolución: herramienta software para modelado y simulación con dinámica de sistemas. *Revista Dinámica de Sistemas*, 4(1), 1-27.
- ANDRADE-SOSA, H., NAVAS, X., MAESTRE, G., & LÓPEZ, G. (2014). *El modelado y la simulación en la escuela - De preescolar a undécimo grado construyendo explicaciones científicas*. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- CHHIPI-SHRESTHA, G., HEWAGE, K., & SADIQ, R. (2017). Water–Energy–Carbon Nexus Modeling for Urban Water Systems: System Dynamics Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6), 1-11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000765](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000765)
- GÓMEZ, U. (2017). SARA: Videojuego para el aprendizaje agrícola soportado en Dinámica de Sistemas (DS). *6th Engineering, Science and Technology Conference Proceedings* (pp. 232-238). Panamá: KnE Engineering.
- OJEDA, M., & ANDRADE-SOSA, H. (2018). Gestión de Información de Producción Porcina en Pie, Toma de Decisiones Soportada en Metodologías Blandas Soportada en Metodologías Blandas. *Scientia et Technica*, 23(3), 359-368.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Agroindustrias para el desarrollo*. Roma: FAO. Recuperado de www.fao.org/3/a-i3125s.pdf
- SUN, Y., LIU, N., SHANG, J., & ZHANG, J. (2017). Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics model. *Journal of Cleaner Production*, 142(20), 613-625. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.110>

TSOLAKIS, N., & SRAIA, J. (2017). A System Dynamics Approach to Food Security through Smallholder Farming in the UK. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 122-138.