

# Una Experiencia de Vinculación Universidad-Industria: Sistemas de Monitoreo Inteligente y Ubicuo de Silobolsas

Juan Pons<sup>1,3</sup>      Claudia Pons<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>2</sup> CIC, Comisión de Investigaciones Científicas PBA

<sup>3</sup> UAI, Universidad Abierta Interamericana

<sup>4</sup> LIFIA, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata  
Buenos Aires, Argentina

cpons@info.unlp.edu.ar

## Resumen.

En este artículo describimos un caso exitoso de vinculación entre la Universidad y la industria. Se trata de un proyecto en el cual hemos desarrollado una infraestructura para la construcción de sistemas computacionales inalámbricos de bajo costo que permiten monitorear y adaptar las condiciones internas del grano almacenado en silobags (humedad, temperatura, PH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc.), con el fin de mejorar su estado de conservación. En particular, hemos definido un lenguaje gráfico de alto nivel que permite especificar la configuración específica del sistema de monitoreo. Luego el código ejecutable es derivado automáticamente, dando origen a toda una familia de sistemas dentro del citado dominio de aplicación. Paralelamente hemos desarrollado el hardware que da soporte al sistema, integrado por sensores especializados y tecnología web. Durante su desarrollo este proyecto recibió apoyo por parte de la empresa de software Microsoft® y sus resultados fueron parcialmente adoptados por una empresa local.

**Palabras clave:** silobag, silobolsa, monitoreo inteligente, sistema inalámbrico, generación automática de código, desarrollo de software dirigido por modelos.

## 1 Planteo del problema

El silobag es una técnica de almacenamiento de bajo costo que consiste en mantener los granos en bolsas herméticas de polietileno, las cuales son almacenadas en el mismo campo donde se realiza la cosecha. Varios millones de toneladas de granos son almacenados en silobags, tanto en países de Latinoamérica como en otras partes del

mundo. Las investigaciones confirman que aunque los silobags tienen algunas limitaciones, ofrecen a los productores rurales una solución relativamente barata y segura para el almacenamiento de granos. Por lo tanto, es importante trabajar en el mejoramiento de esta tecnología; en particular, la incorporación de tecnología informática sería un aporte valioso.

## 2 Objetivos del Proyecto

Este proyecto de investigación tiene como finalidad diseñar tecnologías para el seguimiento y la adaptación automática de las condiciones internas de los granos almacenados en silobags, con el fin de optimizar su estado de conservación. Dado que los resultados de este proyecto están especialmente dirigidos a apoyar a pequeños y medianos agricultores, un requisito obligatorio de nuestro trabajo es que la solución desarrollada sea de bajo costo. En este sentido, los objetivos específicos perseguidos fueron los siguientes:

- Estudiar el efecto de la evolución de los niveles de humedad, temperatura, PH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc. sobre la calidad de los granos con el fin de definir modelos matemáticos para la predicción del comportamiento de dichas variables, y el análisis de sus efectos en las condiciones internas del silo.
- Diseñar sensores inalámbricos de bajo costo para medir los niveles de humedad, temperatura, acidez, dióxido de carbono y otros, a los efectos de monitorear dichas condiciones internas.
- Implementar mecanismos automáticos de adaptación de las condiciones internas de los silobags.
- Diseñar una infraestructura de software para la construcción de sistemas de monitoreo, que permitan registrar mediciones de diferentes sensores, monitorear la evolución de estas mediciones y que permitirán luego activar dispositivos específicos para adaptar las condiciones internas de los silobags.
- Lograr que la información se obtenga a través de sistemas de software de control, consistentes de micro-controladores con escasos recursos energéticos y de hardware.
- Construir una solución integral siguiendo los lineamientos de los paradigmas modernos de la ingeniería de software, tales como Ingeniería de software Dirigida por Modelos y Modelado Específico de Dominio. Estos paradigmas están basados esencialmente en la definición de modelos específicos para la representación de los diferentes aspectos de un sistema a construir y en la generación automática del software a partir de dichos modelos.
- Diseñar una interfaz muy simple y amigable para la interacción del usuario con este sistema.
- Utilizar el potencial de la comunicación inalámbrica y ubicua a través de internet y telefonía celular.

### 3 Principales resultados obtenidos

En este proyecto hemos elaborado una infraestructura para la construcción de sistemas inalámbricos de monitoreo de silobags. En particular, hemos definido un DSL (Lenguaje Específico de Dominio) que permite especificar la configuración específica del sistema de monitoreo. Luego el código ejecutable se deriva automáticamente.

Dada la independencia entre los modelos y el código, la metodología DSM (Domain Specific Modeling) soporta naturalmente la evolución de la arquitectura subyacente (plataforma de ejecución y framework de dominio) sobre la cual se implementa el sistema, reutilizando en su totalidad o en gran parte los modelos generados. De este modo, el software especificado es atemporal en términos tecnológicos y las representaciones de alto nivel que lo definen siguen siendo válidas mientras el dominio del problema siga siendo el mismo. La proximidad modelo-dominio también tiene como ventaja el hecho de que los modelos funcionen como artefactos tanto de captura de requerimientos como de especificación de software. En consecuencia, los clientes (productores rurales) pueden participar con mayor actividad en el desarrollo.

Debido a que el código fuente es producido por los generadores automáticamente, dicho código se supone libre de errores y eficiente en el uso de recursos de ejecución y memoria, por lo que no necesita ser modificado u optimizado. Adicionalmente, todo el código generado sigue un único estilo de programación y diseño.

El DSL que implementamos es lo suficientemente extensible como para incorporar en un futuro diferentes tipos de sensores, actuadores y medidas a ser extraídas. Además, el sistema final ha sido diseñado para incorporar predicción del comportamiento de las condiciones internas de los silobags, generación de alarmas ante cierto comportamiento riesgoso y ejecución de actuadores específicos a partir de las alarmas configuradas.

Este sistema presenta una mejora con respecto a la forma con la que se toman los datos en la actualidad, facilitando y agilizando la obtención de mediciones. Al colocar sensores fijos dentro de los silos que transmiten de forma inalámbrica se elimina la necesidad de tener personal dedicado exclusivamente a dicha tarea, lo que representa una fuerte ventaja económica. Es posible obtener mediciones con una frecuencia mayor que la actual sin la necesidad de realizar perforaciones innecesarias que alteren las condiciones del silo bolsa.

Respecto a la escalabilidad del sistema, una de las ventajas que posee este diseño frente a las opciones actuales es que permite realizar mediciones en un campo con más de un silo bolsa. Teóricamente es posible establecer más de 50.000 sensores; estos pueden funcionar en forma conjunta enviando datos cuando son requeridos al dispositivo receptor. Además, los datos medidos son enviados a Internet y a teléfonos móviles, por medio de un servidor dedicado a esta tarea. En la actualidad Internet es un medio masivo de comunicación y se presenta cada vez en una mayor cantidad de dispositivos; la posibilidad de disponer de esta información en la web y en su teléfono le permitirá al productor realizar un seguimiento continuo del estado de los granos almacenados.

#### 4 Impacto y vinculación con la industria

Dada la importancia y difusión que tienen actualmente los silobags en la provincia de Buenos Aires y en otras región del país, este proyecto constituye un aporte relevante que, a través de la incorporación de tecnología, permitirá mejorar las condiciones de almacenamiento de granos en silobags, detectar condiciones riesgosas de acopio, actuar para mejorar factores críticos y como consecuencia, extender el tiempo de conservación de la producción, sin degradar la calidad de la misma.

Respecto a la vinculación con la industria es de destacar que el proyecto comenzó a desarrollarse en la Universidad Nacional de La Plata en 2009 formando un consorcio con el CONICET, la Universidad ORT de Uruguay y la Universidad Abierta Interamericana. Contó con el apoyo del INTA de Argentina y del INIA de Uruguay.

El proyecto ganó en 2009 una competencia internacional de Proyectos tecnológicos con aplicación regional, impulsada por Microsoft Research, a través del Latin American and Caribbean Collaborative ICT Research (LACCIR). Detalles del premio pueden verse en: <http://www.lifia.info.unlp.edu.ar/laccir/>. Este premio permitió financiar el desarrollo del proyecto.

La tecnología que desarrollamos dio origen a un producto registrado llamado SiloWEB™, que a partir de 2012 está siendo adoptado por la empresa OLEAGINOSA MORENO HNOS S.A, inicialmente en su planta de Daireaux y con planes de extensión a otras plantas. Los resultados pueden verse en la página web <http://www.siloweb.mibvc.com.ar/>

Las figuras 1, 2 y 3 muestran imágenes del ensayo que se realizó en la planta de Oleaginosa Moreno en la localidad de Daireaux. Este ensayo comenzó el día 17 de Abril de 2013. La figura 1 muestra algunos de los silos a utilizar, la figura 2 muestra una estación de telemetría con los tres sensores, antes de ser introducidos dentro del silobag y la figura 3 muestra una de las estaciones de telemetría ya instalada.



Fig. 1. foto de los silobolsas

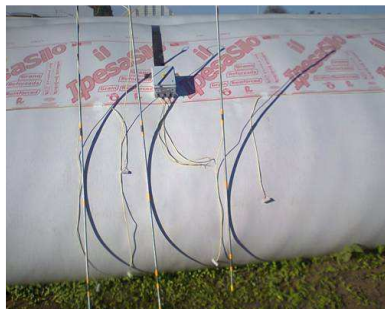


Fig. 2. foto de la estación de telemetría

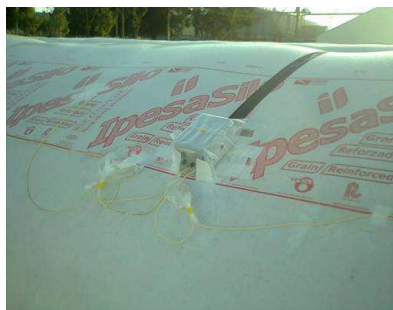


Fig. 3. foto de la estación de telemetría instalada

## 5 Publicaciones del proyecto

Los resultados académicos del proyecto han sido presentados en congresos y publicados en medios científicos y académicos, como se muestra en el siguiente listado:

- Pons, Claudia; Luna, Carlos; Calegari Daniel y Szasz, Nora (2011). Un Lenguaje Especifico de Dominio para la Generación Automática de Código en Sistemas de Monitoreo Inalámbrico de Silobags. 9th LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, August 3-5, 2011, Colombia
- Pons, J., Marinissen, J., Pons, C., Oriente, S. (2009). Características Higroscópicas de Forrajes Almacenados en Bolsas Plásticas. Memorias del 1er Congreso Argentino de Agro-Informática CAI 2009, Mar del Plata, Argentina.
- Pons, Juan y Pons, Claudia (2010). Low cost wireless computer system for quality evaluation of grains stored in Silobags. Congreso Mundial de Ingeniería. INGENIERIA 2010. Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Nov 2010.
- Calegari, Daniel; Luna, Carlos; Canabé, Mauro; Sierra, Federico; Szasz, Nora; Pons, Claudia (2010). Ingeniería Dirigida por Modelos Aplicada al Control Automático del Almacenamiento en Silos bolsa. Congreso Argentino de Agro Informática JAIIO/CAI 2010. Buenos Aires. Septiembre 2010. ISSN 1666 1141.
- Lavie, Sebastian y Martínez, Miguel. Director: Claudia Pons (2010). Tesis de Licenciatura en Informática de la UNLP. Titulo: Aplicando MDD al desarrollo de sistemas agropecuarios: modelado de sistemas de control de calidad de granos almacenados en silobolsas. Tesistas: Fecha de aprobación: Junio 2010. Calificación: 10(diez).