

## Implementación de un prototipo de laboratorio remoto, para el desarrollo de trabajos prácticos de grado

MONTENEGRO Raúl,  
[rmontenegro@ing.unrc.edu.ar](mailto:rmontenegro@ing.unrc.edu.ar)  
WILLNECKER Alberto  
[awillnecker@ing.unrc.edu.ar](mailto:awillnecker@ing.unrc.edu.ar)

REARTES Nancy, PALACIOS Tomás, POTES Laura, CATTALANO Estela,  
SOSA Ma.Valentina, ROSSO Jorge, SOSA Martín, GALIZIA Ana, GALIZIA Diego

Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Río Cuarto

### Resumen

Se presenta un proyecto de investigación e innovación (PIIMEG) que se desarrolla en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto, referido a la implementación de un Laboratorio Remoto, a ser operado a través de Internet. El objetivo del sistema es llevar adelante las prácticas de las materias de grado de la carrera de Ingeniería Química, centradas en operaciones de transferencia de masa, energía y cantidad de movimiento, así como experiencias con reacción química. A través del mismo, los usuarios podrían visualizar y operar los equipos involucrados desde cualquier computadora con conexión a Internet, fijar parámetros de funcionamiento, obtener y procesar los datos generados.

El tema propuesto implica un alto nivel de innovación, y constituye una ruptura con las prácticas clásicas de operación de equipos, preferentemente manual, necesariamente in situ, y de escaso nivel de colaboración entre instituciones similares, que tienden a concentrar su escaso presupuesto en instalaciones que se repiten en cada una de ellas, con pocas posibilidades de diversificación y especialización. El sistema presenta gran potencialidad para los fines educativos, de colaboración y complementación entre instituciones, de capacitación y actualización profesional.

Con el desarrollo del Proyecto, se espera llegar a contar con un sistema mínimo, esto es, muy simplificado, en concordancia con los medios de que se dispone, para experimentar el funcionamiento de equipamiento piloto operado a distancia, y para llevar a cabo demostraciones de la funcionalidad del mismo.

**Palabras clave:** laboratorio remoto, educación, Ingeniería Química

## Introducción

El presente Proyecto surge a partir de la inquietud por ampliar, mejorar y extender el alcance de los trabajos prácticos de planta piloto en la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Los trabajos prácticos de Planta Piloto constituyen una herramienta fundamental para el logro de aprendizaje significativo, en el camino a la mejor formación del perfil profesional del Ingeniero Químico. La actividad de trabajo práctico, “... *(brinda)... el espacio para realizar tareas en equipo comparables a las que hay que realizar a menudo en la práctica profesional, es decir, permitir una simulación lograda de las situaciones que se deberán enfrentar a la hora de aplicación efectiva de lo aprendido*” (Soms y Follari, 1989). Los trabajos prácticos que se desarrollan en una Planta Piloto, permiten que a través de los mismos la articulación teoría-práctica se vaya complejizando en dirección a la construcción de los conocimientos y las competencias propias de la profesión. (Amieva y Montenegro, 1997).

Sin embargo, la preocupación por emular la actividad profesional del Ingeniero Químico nos ha llevado a ocuparnos prioritariamente de los saberes y competencias necesarios para el desarrollo de prácticas profesionales dominantes (diseño, operación, puesta en marcha, etc.), pero no de algunas emergentes (diseño de experiencias, hipótesis de comportamiento a partir de simulador, control de procesos desde panel central, etc.). (Follari y Berruezo, 1981; Amieva y Montenegro, 1997)

Los equipos de Planta Piloto en Ingeniería Química, instalados en diversas Universidades, son operables *in situ*, en general en forma manual, esto es, con un bajo nivel de automatización y control, tal vez como consecuencia de los costos que implicarían cambiar esa tendencia, o por la antigüedad de los equipos, o porque los docentes a cargo de las materias específicas no dominan el tema de control, por la escasa práctica de interdisciplinariedad, etc.

El proyecto actual parte de las conclusiones de un PIIMEG anterior, que concluyó aprobando la factibilidad de montar un sistema operado a distancia, en la medida en que se entienda como un primer paso, demostrativo y de experimentación.

Sobre esta convicción, se tomó la decisión de presentar un segundo PIIMEG, de tipo B, para encarar la implementación del sistema en su versión más simplificada. Este proyecto se presentó a la convocatoria para el período 2011 – 2012, y obtuvo financiación por parte de la UNRC.

## Estrategia de innovación

Los actuales avances tecnológicos permiten incorporar las herramientas provenientes de las nTIC's en las más diversas áreas. Por ejemplo, la telemedicina y los laboratorios

remotos. En los procesos de enseñanza universitaria constituye una alternativa a la asistencia a los laboratorios tradicionales, a la que vez permite la accesibilidad a instalaciones remotas. (Saavedra y otros, 2008).

La enseñanza mediada a través de las llamadas Tecnologías de Información y Comunicación (TIC's) ha experimentado grandes avances, en especial en lo que hace a compartir información entre docentes y alumnos, exposición a través de presentaciones, consultas, intercambio de materiales, resolución de problemas con supervisión, etc. En lo que hace a aquellas actividades en las que se requiere la práctica utilizando equipos o tecnologías industriales complejas, el estado del arte de la comunicación aplicada a la enseñanza presenta un desarrollo menos avanzado. Existen sistemas que operan sobre maquetas virtuales, pero *"...cualquiera de las herramientas, tanto las mencionadas, como otras específicas, basadas en paquetes comerciales de software sobre los que se desarrollan aplicaciones docentes, no facilitan al alumno una visión directa, dinámica, e interrelacionada de los conceptos (involucrados)"* (Domínguez y otros, 2005).

Lo dicho plantea la necesidad de avanzar en tecnologías educativas que acentúen el uso del recurso informático, un tipo de conocimiento que está instalado a nivel productivo y comercial, pero aún se debe clasificar como emergente a nivel educativo.

La tendencia hacia la operación o teleoperación de procesos industriales, está claramente en auge (Ramos y otros, 2001). El estado actual de la tecnología nos permite que a través de Internet podamos transferir en forma bidireccional y en tiempo real datos, sonido, video, texto, gráficos, órdenes de accionamiento, etc. Puede asimismo activar controles, alterar consignas, tomar datos, a la vez que lograr que estas transferencias estén dotadas de toda la seguridad física e informática que se requiera.

La respuesta a estas inquietudes se ha materializado a través de los llamados Laboratorios Remotos, que algunas Universidades han desarrollado o están intentando en la actualidad. De este modo, han surgido nuevos conceptos, relacionados con la necesidad de modificar las prácticas habituales para acercar más la práctica universitaria a la situación real externa. El concepto encuentra una justificación extra en los requerimientos de un proyecto como el que se presenta, dado que necesariamente una operación a distancia requiere la existencia de un control de variables a través de sistemas automáticos, que son los que permitirían la operación a distancia.

La aplicación que se propone como Laboratorios Remoto permite un aprovechamiento de las n'TICs en general, y de Internet en particular, distinto de aquel al que los alumnos y docentes están acostumbrados.

### **Definición de Laboratorio Remoto:**

Se refiere a un laboratorio, en nuestro caso de escala piloto, que puede ser operado tanto en forma presencial, como a distancia a través de un sistema de comunicación (clásicamente Internet).

Para eso, debe contar con controladores y elementos de operación manipulables a través de software de comando y de administración apropiados.

## Objetivos

- Incorporación de nueva tecnología a la producción de material para la enseñanza.
- Construcción, montaje y puesta en marcha de un sistema que permita la operación de equipos de procesos de escala piloto en forma remota, para su utilización como una opción más para llevar adelante los trabajos prácticos de grado de la carrera de Ingeniería Química.
- Proveer a la capacitación de recursos humanos en la temática relacionada con los Laboratorios Remotos, para su utilización en las cátedras del área de Ingeniería.
- Difundir entre las instituciones de enseñanza del país y la región el conocimiento de la potencialidad de los laboratorios remotos.

## Descripción del proyecto

### Desarrollo

Una parte importante de la discusión sobre el uso de esta tecnología, se dedicó a la caracterización de las experiencias a realizar por los estudiantes en el desarrollo de los trabajos prácticos. En las primeras reuniones en las que se explicitaron las características de las futuras experiencias, se evidenció que las pensábamos como una continuidad de las que se han desarrollado tradicionalmente, sobre la planta piloto operada manualmente. Estas prácticas se centraban en llegar a cumplir con una determinada consigna, como llegar a un valor de concentración de una solución (práctico de evaporación), o a un nivel de humedad (práctico de secado), o de separación de una solución de alcohol en agua (destilación). Sobre esta base, detectamos el peligro de no generar una verdadera ruptura con lo anterior, y que los trabajos prácticos planeados a distancia se transformase en hacer “más de lo mismo” pero a distancia.

Detectado esto, se decidió realizar una reunión de todo el grupo para discutir esta metodología. Se concluyó que es importante aprovechar al máximo la potencialidad del laboratorio remoto para experimentar la manipulación y regulación de variables. De modo que se incluyó entre los objetivos, además de llegar al cumplimiento de una consigna cuantitativa, la necesidad de que los estudiantes practiquen la manipulación de variables de

operación, experimenten con el control del proceso, se familiaricen con la dinámica de la operación.

Para lograr ese cambio, se hace necesario que tales objetivos estén explícitos en las instrucciones del trabajo práctico, y se pida que los informes consignen las variantes introducidas durante la experiencia, así como las conclusiones que de allí se obtengan. El valor que la cátedra otorgue a ese nivel de experimentación debe ser planteado claramente a los alumnos antes de la realización del trabajo práctico.

En un principio, se intentó determinar características de la operación del sistema, con independencia de los elementos que habrían de componerlo. Entonces planteamos pautas de seguridad, las exigencias para los estudiantes, la forma de evaluar los trabajos prácticos a realizar, las operaciones de puesta en marcha y de parada del sistema, etc.

Después de algunas reuniones, se evidenció la dificultad de fijar algunas de esas características, hasta no tener determinado exactamente la línea de procesos y el equipamiento involucrado, dado que permanentemente perdíamos perspectiva de la operación, por la dificultad en imaginar la experiencia remota sin tener presente los elementos concretos que habrían de componerla. Por eso, en algún momento debimos volver atrás con la fijación de pautas de trabajo, hasta tener especificado qué equipos incluiríamos en nuestro primera línea básica de procesos.

Como la tendencia en el grupo derivaba siempre a la consideración de líneas de procesos complejas, fue necesario hacer un esfuerzo para poder delimitar una línea sencilla y barata, pero no trivial, que fuese capaz de cumplir con los objetivos del Proyecto. En función de lo anterior, se comenzó planteando una línea que incluyese transferencia de cantidad de movimiento, de calor y de materia, lo que se corresponde con los temas centrales de la Ingeniería Química, y con los más importantes trabajos prácticos que se llevaban a cabo en la vieja planta piloto previo al año 2007.

Así, los primeros sistemas que se propusieron fueron el de evaporación y el de destilación, ambos constituyen líneas de procesos complejas y con muchas posibilidades de experimentación. Sin embargo, al tratar de pasar a la consideración de los controles que deberían instrumentarse, se planteó que su complejidad lo pondría fuera de nuestro alcance real. Esta consideración dio origen a una discusión que insumió dos reuniones y media, hasta aceptar todos que se requería una línea más sencilla para planear nuestra propuesta, y que aún así podría mantener las expectativas del proyecto.

Finalmente, y luego de considerar propuestas cada vez más simplificadas, se decidió que la línea sobre la cual plantear el desarrollo de un Laboratorio Remoto, será un sistema compuesto por un tanque encamisado (doble pared) para calentar o enfriar el contenido, con agitador interno, descarga inferior a través de una bomba, y dos ramales de circulación en paralelo, de distinto diámetro y complejidad, controlados por sendas válvulas. Los ramales descargan en un depósito con control de nivel, desde donde una bomba lo recircula, previo paso por un intercambiador de calor que se ocupa de enfriar la corriente. El esquema correspondiente puede verse en la Figura 1.

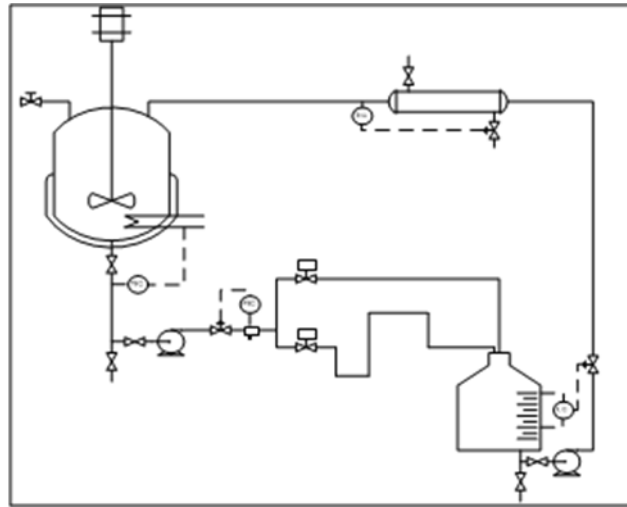


Figura 1: Esquema del sistema propuesto.

Este sistema ofrece la posibilidad de que el operador remoto controle el grado de agitación (a través del encendido del motor del agitador, más la velocidad de agitación si se logra contar con motor de velocidad variable), la temperatura interna en el tanque (en función de la circulación de un líquido de intercambio, que no se muestra en la figura), el caudal de descarga, en función de la operación de las válvulas de descarga operadas en uno de los dos ramales, o simultáneamente. La operación de las válvulas condiciona también el tiempo de descarga del tanque. En resumen, las variables de operación serían:

- Agitación sí o no (con posible control de la velocidad del motor).
- Temperatura en el tanque.
- Selección del ramal de descarga.
- Caudal de descarga (y tiempo de descarga).

El equipo permite experimentar por lo tanto con la descarga operada a distancia a través de uno o dos ramales, el llenado alternativo o simultáneo de dos recipientes distintos, los tiempos de circulación de fluidos de distinta viscosidad, el tiempo de calentamiento con y sin agitación, etc., con lo quedarían configurados distintos trabajos prácticos. Por otra parte, el sistema de tanque, bomba y cañerías es básico para plantear líneas más complejas, ya que prácticamente todas las que podrían pensarse parten desde este esquema.

El proyecto se ha ido constituyendo en un trabajo multidisciplinario, a partir de la colaboración de un grupo de trabajo de Ingeniería Eléctrica, cuyos integrantes (docentes y estudiantes) han tomado a cargo la instrumentación del sistema. Recientemente el proyecto ha dado origen a una tesis de Maestría, a partir de la colaboración de un grupo del área de Telecomunicaciones de la Facultad, a través del cual incorporar técnicas matemáticas aplicadas al análisis de imágenes, para medir variables físicas tales como temperaturas, niveles, presiones. Tales mediciones se incorporarán a la operación del sistema de laboratorio remoto, constituyéndose en una notable innovación en la toma y manejo de datos.

El sistema deberá contar con un protocolo de administración, encargado de receptor pedidos y otorgar turnos a los estudiantes, no permitir la operación a terceros mientras un alumno está utilizando el sistema, permitir la exportación de los datos, la observación de las imágenes captadas por la cámara, etc.

En lo que hace a la seguridad del sistema, se decidieron las siguientes características:

- Durante la operación a distancia, deberá permanecer junto al equipo una persona entrenada (operador presencial), para encargarse de todo imprevisto que pudiese suscitarse. En principio será un docente, y más adelante podrá ser un ayudante alumno, o estudiante avanzado.
- El operador presencial podrá tomar el control del sistema en cualquier momento en que se presentase una emergencia.
- También se encargará de las operaciones previas (llenado de los equipos, dosificación, etc.), y de las posteriores (drenado de equipos, limpieza del área, etc.).
- El sistema contará con una llave eléctrica de corte rápido capaz de desactivar todo el sistema con un solo toque.
- En todos los casos se trabajará con líquidos inocuos (agua, o soluciones acuosas no peligrosas).

El sistema informático de la Universidad Nacional de Río Cuarto permite la entrada de usuarios externos, a través de un sistema de permisos y contraseñas, de modo similar al que se utiliza para el correo electrónico. Se ha consultado con las autoridades del Centro de Cómputos, quienes también han dado su visto bueno a la implementación del Proyecto.

## Conclusiones

La apertura tecnológica que se propone debe ir acompañada de una apertura conceptual, permitiendo al alumno un mayor control sobre las decisiones que hacen a sus trabajos prácticos, alejándolos de la rígida guía de T.P. “Dentro de los procesos de enseñanza – aprendizaje el laboratorio es un nuevo concepto que lleva al estudiante a entender la importancia de las redes de comunicación sin olvidar los análisis que puedan desprenderse de los objetivos de cada práctica desarrollada. (Perez, disponible en Internet)

Asimismo, se acentúa la actividad creativa y motivadora del docente, esto “..significa que los profesores deben generar actividades y contenidos motivadores (no es sencillo) y sobre equipos con instrumentación real (complejidad añadida), con lo que el trabajo del profesor se centra más en determinar qué experiencias fomentarán más el aprendizaje activo, o autoaprendizaje, de los alumnos.” (Dominguez, 2006)

El sistema permitiría asimismo el uso por parte del docente durante las clases de teoría, combinando así la parte expositiva con el aspecto demostrativo simultaneo, operando el equipamiento desde el aula de clase.

Contar con una herramienta como el Laboratorio Remoto, y con la capacitación y el hábito de utilizarlo, así como un sistema organizativo probado, abre múltiples posibilidades, como establecer convenios que nos permitan llegar a integrar una red de colaboración entre Facultades de Ingeniería, institutos de investigación, institutos tecnológicos, etc., racionalizando los recursos humanos y materiales, compartiendo equipamiento a través de Internet, ampliando el espectro de posibles trabajos prácticos, permitiendo (en cierta medida) independizarse de las limitaciones de recursos de cada institución, incorporando la posibilidad de que los estudiantes utilicen nuestros propios equipos desde sitios remotos, de realizar demostraciones para establecimientos de nivel medio, de ofrecer servicios relacionados con el uso a distancia del equipamiento, de utilizarlos para cursos de posgrado, etc.

La operación de un Laboratorio remoto permite superar limitaciones como las que se detallan:

- de equipamiento, evitando la necesidad de duplicar instalaciones, una inversión que siempre resulta excesivamente onerosa para los presupuestos educativos.
- de recursos humanos, evitando, al igual que en el punto anterior, la necesidad de duplicar la formación y especialización del personal de conducción y supervisión de los trabajos prácticos.
- de presupuesto, al permitir que los gastos puedan ser compartidos por distintas instituciones que accedan al recurso.
- de distancia, desde que no requiere el traslado de los usuarios al lugar donde está instalado el equipamiento.
- de disponibilidad horaria, ya que posibilita ampliar el horario de trabajo de los laboratorios, sin necesidad de acotar a tiempos excesivamente restringidos el acceso de cada usuario o grupo de usuarios.

Al mismo tiempo, esta mecánica de trabajo favorecería la colaboración entre estudiantes de diversas unidades académicas (pensando en operadores de campo interactuando con operadores remotos), así como el trabajo con docentes externos al lugar de origen de los estudiantes.

El hecho de trabajar a distancia, operando equipos que se sitúan en otro ámbito, o incluso pueden pertenecer a otra institución, apoyados por docentes y colaboradores externos, representa un reconocimiento hacia el fenómeno de las llamadas cogniciones distribuidas (física, social y simbólicamente) (Libedinsky, 1995). Implica un importante salto cualitativo en la calidad de la enseñanza, en la interrelación e intercambio entre instituciones, entre docentes y entre estudiantes.

Necesitamos dejar claro que los primeros Trabajos Prácticos a incluir en esta modalidad serán necesariamente los más sencillos, y aunque podría discutirse si se justifica la



complejidad de la propuesta para sistemas tan simples, deben pensarse como un comienzo, un ensayo para prácticos más complejos en el futuro, cuando dominemos la tecnología.

El tema que se propone implica un alto nivel de innovación, y constituye una ruptura con las prácticas mencionadas de operación de equipos preferentemente manual, necesariamente *in situ*, y de escaso nivel de colaboración entre instituciones similares, que tienden a concentrar su escaso presupuesto en instalaciones que se repiten en cada una de ellas, con pocas posibilidades de diversificación y especialización.

En síntesis, el desarrollo que se pretende es factible, de amplias posibilidades, y su única limitación son los recursos de que se disponga, y la decisión de llevarlo adelante.

## Bibliografía

AMIEVA, R. L.; MONTENEGRO, R. (1997) *La Problemática del Trabajo Práctico en las Carreras de Ingeniería Química*. Primer Congreso de Ingeniería de Procesos del Mercosur, Bahía Blanca.

DOMÍNGUEZ, M, REGUERA, P; FUERTES JJ. (2005) "Laboratorio Remoto para la Enseñanza de la Automática en la Universidad de León". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Volumen 2, Nº 2, abril de 2005; pp 36-45.

FOLLARI, R. BERRUEZO, J. (1981) "Criterios e instrumentos para la revisión de planes de estudio" en *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, Vol.11, Nº1, CEEE, México.

LIBEDINSKY, M; EN LITWIN, E. (comp), (1995) *Tecnología Educativa. Política, historias, propuestas*; Ed. Paidós, Buenos Aires.

LUCARELLI, E. (1994) *Teoría y práctica como innovación en docencia, investigación y actualización pedagógica*. Apunte Facultad de Filosofía y Letras, UBA.

NOURDINE ALIANE, J.F; MARTÍNEZ A Y ORTIZ, J. (2007). *Un laboratorio de Ingeniería de Control Basado en Internet*. Inf. Tecnol., vol.18, no.6, p.19-26.

RAMOS, C; HERRERO, J. M; MARTÍNEZ, X. Y OTROS. *Control Predictivo Multivariable de una Planta Piloto Utilizando Buses de Campo*. <http://es.scribd.com/doc/46877410/Control-Predictivo-Multi-Variable-de-Una-Planta>, consultado 10/03/2011.

SAAVEDRA, JORGE A, PUENTE, LUIS A, GONZÁLEZ, GUILLERMO A Y OTROS. (2008) *Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para Fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos*. Inf. Tecnol. vol.19, no.4, p.03-10.

SHYAMALA C, WILLIAM R, MAEN A, NAUMAN A. (2005) *A Web-Based Remote Interactive Laboratory for Internetworking Education*, IEEE Transactions on Education, Vol. 48, Nº. 4.

SOMS, E; FOLLARI R. (1989) *El Trabajo Práctico en la Formación Profesional*, Ed. Gernika.