

# La experiencia del Club de Robótica como complemento a la formación en Ingeniería

A.L. Chiesa, E.M. Corbellini, T.A. González y A. Burman

**Resumen**—El Club de Robótica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA) es una actividad extracurricular que tiene como objetivo ofrecer un espacio para el aprendizaje de la robótica.

En el presente trabajo describimos la organización y la metodología de trabajo del Club. Analizamos las dificultades que presenta esta actividad y enumeramos los logros obtenidos a la fecha. Planteamos nuevos desafíos para las técnicas de educación no formal, en particular referidos a mantener la motivación de los estudiantes.

**Palabras Claves**—Club de Robótica, educación, ingeniería, aprendizaje horizontal

## I. INTRODUCCIÓN

Los estudiantes que recién ingresan a la Facultad poseen una alta capacidad y voluntad creativa. Ésta es una de las razones por la cual eligen la carrera de Ingeniería. Sin embargo, el lento y exigente ritmo de las primeras materias con las que se enfrentan disminuye ese impulso inicial, motivo por el cual muchos jóvenes nunca alcanzan el tercer año de la carrera. El alto contenido matemático y la poca vinculación con las aplicaciones reales desmotiva a muchos estudiantes y en algunos casos los lleva a abandonar las carreras científicas y tecnológicas [7].

El Club de Robótica de la FIUBA fue fundado en 1989 por Lucas Diodati, pasante de aprendizaje tecnológico del Laboratorio Abierto (LABI), y nació con el objetivo de dar un espacio para desarrollar dispositivos mecatrónicos y fomentar el trabajo en equipo utilizando una metodología de aprendizaje horizontal [1]. A través de los años se mantuvo tanto el lugar de trabajo como la metodología, pero a partir de fines de 2008 y principios de 2009 se renovó la propuesta.

En el Club los estudiantes pueden encontrar, dentro del mismo ámbito de la Facultad, un espacio donde podrán afrontar proyectos que los incentiven y les muestre que estudiar ingeniería no tiene por qué ser aburrido. Les permite a los estudiantes de los primeros años, no sólo relacionarse con estudiantes más avanzados y trabajar en proyectos motivadores, sino que además los provee de herramientas que luego utilizarán en el ciclo superior de la carrera y en la vida profesional. Encuentran un lugar en el cual pueden involucrarse en proyectos interdisciplinarios de mayor complejidad que los encontrados en la currícula habitual. Dado que el Club está abierto a toda la comunidad académica, el potencial del mismo les permite embarcarse en diversas empresas que

Los autores son miembros de la IEEE y forman parte del Club de Robótica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina. E-mail: achiesa@ieee.org <http://www.clubderobotica.com.ar>

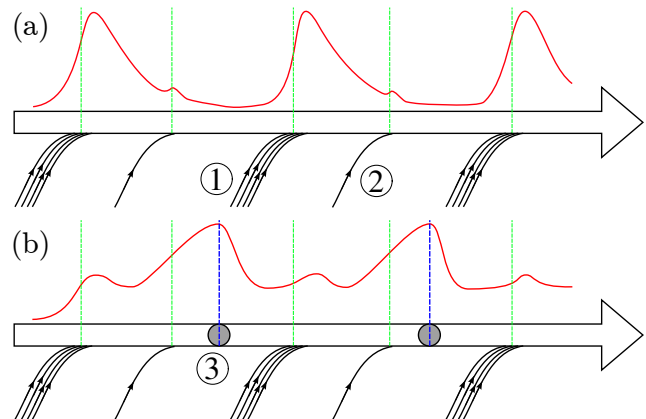


Figura 1. Nivel de actividad (curva roja) y afluencia de nuevos miembros (flechas negras) en función del tiempo: (a) sin hitos (b) con hitos.

difícilmente puedan articularse en alguna de las materias de la Facultad. Asimismo, como los proyectos no están acotados a la duración de un solo cuatrimestre, los mismos poseen una continuidad que no puede exigirse en las materias. Por último, pero no menos importante, los proyectos encarados resultan ser auténticos trabajos de ingeniería que forman a los participantes del Club tanto en actividades de investigación como de producción.

## II. OBJETIVOS DEL CLUB

El Club de Robótica fue concebido inicialmente por alumnos de la carrera de Ingeniería Electrónica como un complemento a la currícula de la misma y ha ido obteniendo nuevos objetivos a medida que se fue expandiendo. Una de las principales funciones en esta nueva etapa, es la promoción y difusión de las carreras tecnológicas, mientras favorece a la motivación de los estudiantes de las mismas.

La robótica es una especialidad intrínsecamente interdisciplinaria, y el Club busca desarrollar la capacidad de trabajo en grupos incluyendo la administración de tareas y del tiempo y la comunicación entre personas de diferentes ámbitos.

Un objetivo no menor, relacionado con fomentar las buenas prácticas de la Ingeniería, es incentivar el hábito de la documentación durante toda la extensión de un proyecto. Desde explicar la idea propuesta, dar la justificación del diseño y realizar los esquemáticos de circuitos electrónicos, hasta comentar adecuadamente el código fuente generado.

## III. EVOLUCIÓN Y CONTINUIDAD

En la Figura 1 se observan dos gráficos que representan el resultado de dos metodologías de trabajo distintas. La curva

roja indica el nivel de actividad de trabajo en el Club y las flechas negras representan la afluencia de nuevos miembros, a lo largo del tiempo.

Destacamos tres elementos importantes en el gráfico representados con círculos numerados. El elemento (1) corresponde a una afluencia de personas interesadas en el Club que se agrupa en una fecha particular, como resultado de una convocatoria anual (ver sección IV-A). El elemento (2) corresponde al ingreso eventual de nuevos interesados. El elemento (3) representa un hito o un evento destacado. Estos se describen en la sección IV.

Durante las primeras épocas, el Club trabajó con propuestas abiertas y sin compromisos fijos. En este período, el Club no demostró un crecimiento neto, sino que con el ingreso de nuevos participantes se producía un incremento aislado en la actividad que luego se veía desvanecido por falta de objetivos. En la Figura 1(a) se representa esta evolución, mostrando también que cuando se producían ingresos aislados, estos difícilmente podían contribuir al progreso.

Un punto de quiebre fue la decisión de participar en la competencia nacional de robótica organizada por el GRS [11]. A partir de establecer la participación del Club en diversos eventos, logramos obtener un nivel de actividad basal. Como se observa en la Figura 1(b), los hitos pasaron a tener una importancia mayor por sobre la actividad generada por los nuevos ingresantes. Se genera una realimentación donde la constante actividad permite a los ingresantes encontrar rápidamente un proyecto que les resulte de su interés, y al mismo tiempo, el flujo de personas contribuye a mantener los proyectos en constante actividad.

#### IV. ACTIVIDADES Y ESTRUCTURA

La estructura actual del Club deriva de la metodología de trabajo que nos propusimos adoptar. El Club es un lugar donde se aprende desarrollando proyectos completos, desde la idea, hasta la implementación. Esto concuerda con las ideas del *Project Based Learning* [3], reconocido como un método eficiente para la enseñanza de la Ingeniería [2].

##### IV-A. Membresía y trabajo en grupo

La estructura del Club es horizontal. Esto quiere decir que todos los miembros tienen voz y voto tanto en las decisiones de diseño en los proyectos como en aquellas que afectan al Club en su conjunto. Los miembros con más experiencia (ya sea por antigüedad en el Club o por conocimientos previos) sirven de referencia para los de menor experiencia. Para realizar los proyectos los miembros se dividen en grupos con intereses similares. La dinámica de funcionamiento interna del grupo es propuesta por sus integrantes y no forzada por el Club.

Las actividades del Club se realizan en reuniones semanales, con horario fijo y conocido por la comunidad en general. Mantener el horario constante a lo largo de los cuatrimestres le permite a los estudiantes planificar los horarios de sus materias para dejar libre el momento del Club.

El Club siempre está abierto a nuevos miembros, y ellos no necesitan anotarse ni registrarse de ninguna forma. Participan según sus necesidades y disposición de tiempo. Para ser

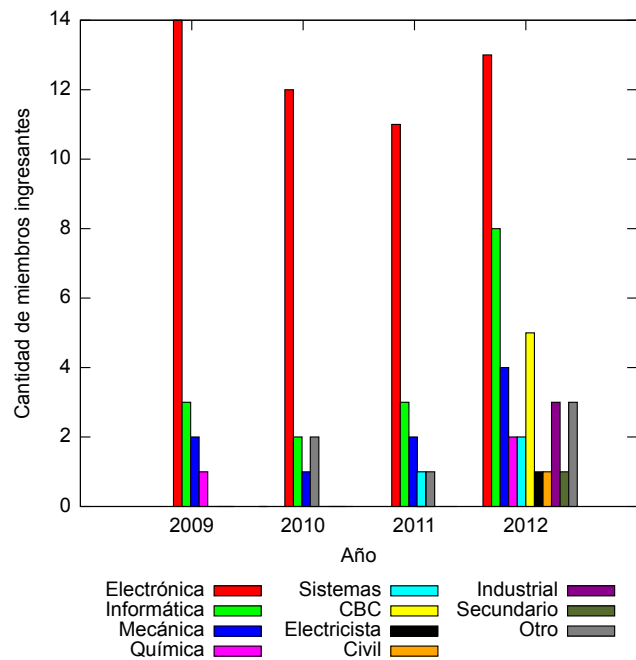


Figura 2. Cantidad de ingresantes por año divididos según la carrera que cursan.

miembro del Club simplemente hay que participar de sus actividades. Para continuar el contacto fuera de las reuniones semanales pueden suscribirse a la lista de correo, en donde podrán seguir realizando consultas si es que deciden trabajar por su cuenta. Esto permite que se mantenga un contacto virtual que agranda la comunidad del Club. El Club además es gratuito, acorde al espíritu de la Universidad pública, lo que aumenta su aceptación.

Además del mecanismo de adhesión continuo, anualmente se publicita un llamado a nuevos participantes, principalmente para atraer a la gente que no se siente cómoda con asistir directamente sin ser explícitamente invitada. En la Figura 2 hemos representados la composición demográfica de los ingresantes de los últimos 4 años, que han respondido a estas convocatorias.

##### IV-B. Coordinadores

Además de la realización de los robots, mantener el Club en funcionamiento y fomentar su crecimiento requiere realizar tareas de otras índoles, incluyendo administrativas y contables:

- Representar al Club ante autoridades y recibir a los nuevos miembros, resultando así el *punto de contacto* del Club.
- Consensuar un rumbo para el Club, teniendo en cuenta la opinión de todos los miembros.
- Ayudar a los grupos a conseguir los materiales que necesitan.
- Buscar fuentes de financiamiento.
- Asegurar la continuidad y el crecimiento del Club.

Usualmente, a medida que los participantes se involucran más en el Club, tratan de colaborar con la organización para que nuevos miembros puedan tener la misma experiencia.

De manera similar a la que algunos ex alumnos de materias desean ser ayudantes, en el Club comienzan a adoptar mayor responsabilidad con el mantenimiento del mismo.

Este proceso culmina con la creación de un nuevo coordinador del Club, un miembro con iguales posibilidades, pero que aceptó mayor responsabilidad y del cual se espera que realice las tareas antes mencionadas.

No existen cupos para los coordinadores, y se pretende que sea un grupo dinámico, que crezca y se renueve a medida que progresa el Club.

#### IV-C. Charlas internas

Además del trabajo en grupos y la comunicación entre ellos facilitada por los coordinadores, el Club brinda un espacio para que los miembros interesados o personas invitadas den charlas a los demás miembros.

Estas charlas cumplen dos objetivos, permitir a los miembros desarrollar habilidades de comunicación e incrementar el conocimiento colectivo del Club.

Algunos grupos han preparado charlas sobre el proceso de diseño de sus robots, temas específicos de divulgación o tutoriales sobre las herramientas de trabajo. El material generado para estas presentaciones permanece luego disponible en la página web del Club para futuras referencias.

#### IV-D. Exposiciones y muestras

El Club participa en exposiciones y muestras organizadas por la Facultad, la UBA u otras organizaciones. Estas participaciones sirven para dar a conocer nuestras actividades a un público mayor, para publicitar el estudio de carreras técnicas mostrando algo que no se suele asociar con la Ingeniería y, finalmente, como estímulo a los miembros a mejorar el estado de los proyectos.

#### IV-E. Participación en competencias

Para tener objetivos claros con fechas fijas participamos en competencias de robótica, tanto organizadas por nosotros como externas al Club. Estas presentaciones de los robots reemplazan lo que serían las instancias de evaluación en la educación formal. Si bien son competencias, para nosotros son momentos de aprendizaje muy importantes ya que se aprovechan para hacer una puesta en común de los diseños y que todos los participantes puedan aprender qué cosas funcionaron y qué diseños no produjeron buenos resultados.

#### IV-F. Talleres introductorios

Acompañando los llamados a nuevos participantes, organizamos un ciclo de talleres introductorios a la robótica móvil. No se requieren conocimientos previos para participar en estos talleres y el objetivo es brindar las herramientas básicas para comenzar a diseñar un robot.

Estos talleres fueron introducidos para balancear la relación entre las capacidades de los nuevos miembros (dadas por sus conocimientos y experiencias) y el desafío que encuentran en el Club en un rango que no conlleve al aburrimiento ni ansiedad. Cuando el desafío es mayor que la capacidad, uno experimenta frustración; cuando sus habilidades son superiores al desafío, uno experimenta aburrimiento [4].

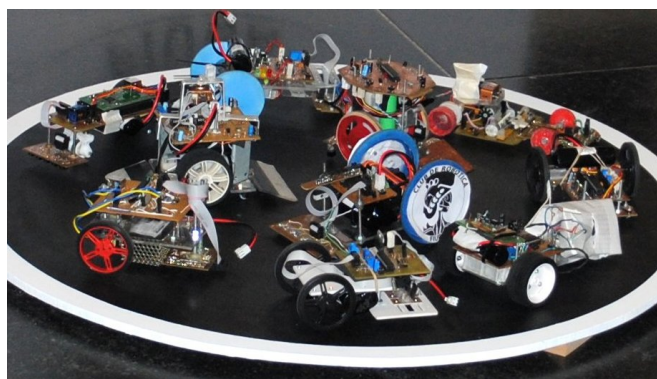


Figura 3. Robots que participaron en la competencia del cierre de actividades del año 2011.

#### IV-G. Herramientas informáticas

Gran parte de las actividades necesarias para armar un robot suceden dentro de la computadora. Para facilitar la colaboración entre miembros y la reutilización de contenido generado dentro del Club, usamos un conjunto estandarizado de herramientas para realizar todos los proyectos. Asimismo, como no queremos que el acceso a las herramientas imponga una restricción a la libre participación, en el Club usamos, en todos los casos, programas gratuitos, de código abierto y preferentemente multi-plataforma.

Para impulsar el trabajo en equipo, facilitar la documentación y el acceso a todo el material generado en el Club, utilizamos una serie de herramientas que detallamos a continuación.

Una de las herramientas centrales que utilizamos es un sistema web de gestión de proyectos llamado Redmine [12]. Este software nos brinda un wiki por proyecto para poder volcar la documentación del mismo, modificable desde cualquier lado e instantáneamente disponibles para todos los interesados. Otra de las funciones importantes que provee es el mecanismo de creación y administración de tareas, capaz de especificar dependencias entre ellas y tiempos estimados, a partir de las cuales se pueden generar calendarios, diagramas Gantt y estadísticas de trabajo. Permite además asignar a responsables de esas tareas y hacer un seguimiento de las mismas, cambiando el estado de ejecución y agregando notas. Esto asegura que cada tarea esté documentada individualmente, otorgando una realimentación oportuna al resto del equipo.

Para el manejo de código fuente, esquemáticos de circuitos, o cualquier cosa que no se desarrolle dentro del wiki del gestor de proyectos utilizamos un sistema de control de versiones distribuido llamado Mercurial [13]. Este sistema permite mantener un registro de todos los cambios introducidos a los archivos por cualquiera de los miembros del equipo. Cada cambio, al agregarse al repositorio, constituye una documentación mínima de por sí, que muestra la evolución del proyecto. Al ser distribuido permite a los miembros que no poseen acceso a Internet seguir trabajando y luego incorporar sus cambios, o también en lugares alejados, por ejemplo durante las competencias.

Es de gran importancia la lista de correo del Club. La misma está implementada por medio de un grupo Google y es

administrada por los coordinadores. Por esta lista se discuten las dudas de los proyectos, se comparten noticias interesantes en robótica, y se logra dar una continuidad a las actividades del Club entre reuniones. Cualquier persona es bienvenida a suscribirse a este grupo, que actualmente cuenta con más de 200 suscritos y más de 100 correos por mes.

Como compilador usamos el GCC [15], configurado para trabajar con las diferentes arquitecturas que utilizamos. Sin embargo, durante las experiencias con nuevos miembros recién ingresados al Club se percibió que esta herramienta sumamente poderosa les resultaba difícil de manejar y configurar. En busca de una solución más amigable nos contactamos con un estudiante de Ingeniería Informática y le propusimos implementar una solución online con interfaz web. El resultado motivó el trabajo de graduación del estudiante que se materializó en el *wIDE* [8]. La herramienta permite delegar al lado del servidor todas las configuraciones crípticas y el cliente sólo se limita a subir el código y recibir el archivo ya compilado. El entorno resultó ser un gran éxito.

Durante las etapas de ajuste de los robots, los ciclos de programación-prueba-programación son intensivos. Rápidamente se identificó la necesidad de un simulador que pudiera correr en la PC y que agilizará este procedimiento. Con ese objetivo se desarrolló el Simulador Simple de Robot (SisiBot). El mismo está actualmente orientado hacia los vehículos seguidores de línea y cuenta con una interfaz gráfica para ver al vehículo sobre la pista en tiempo real y poder evaluar su desempeño.

Para realizar circuitos electrónicos utilizamos Kicad [14], que es un software libre para diseño de esquemáticos y PCB. Para realizar planos mecánicos de piezas, usamos QCad [16].

#### IV-H. Plataformas de desarrollo

Además de las herramientas informáticas, para desarrollar los robots se necesitan componentes electrónicos y mecánicos. Para permitir el intercambio entre proyectos y simplificar el vasto mundo de la robótica a los nuevos miembros, se definen algunas plataformas estándar, aunque cada proyecto tiene libertad para seleccionar las tecnologías que mejor se ajustan a sus necesidades.

Para los proyectos más simples, que no van a requerir grandes cantidades de procesamiento, se utilizan procesadores de la serie AVR de Atmel. Se elige esta arquitectura sobre otras similares por contar con muy buen soporte en las herramientas libres y por la gran diversidad de la familia. Para poder programar de forma sencilla los AVR se diseñó un programador USB de bajo costo, lo que permite trabajar con computadoras modernas que no cuentan con puerto serie o paralelo.

Para robots que requieran mayor capacidad de cómputo y memoria se utilizan dos kits con procesadores ARM Cortex M3, el *mbed* [17] o la Plataforma Libre [18].

Además de los procesadores centrales, el club cuenta con módulos de comunicación inalámbrica y algunos sensores que los proyectos pueden utilizar.

Para el armado estructural de los robots, los miembros cuentan con la posibilidad de emplear piezas de LEGO, o crear sus propios diseños como crean conveniente.

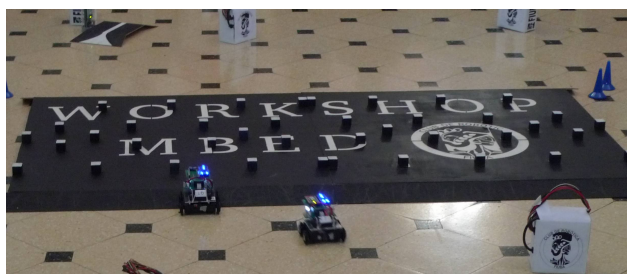


Figura 4. Competencia final organizada por el Club de Robótica en el Simposio de Sistemas Embebidos 2011.

## V. LOGROS

A través de numerosas actividades, el Club de Robótica demostró ser un ambiente de aprendizaje y también de difusión y divulgación. A continuación se listan los logros más relevantes.

### V-A. Proyectos

Dentro de los proyectos completados durante estos tres años, se encuentran más de 15 robots seguidores de línea (que suele ser el primer proyecto que realizan los ingresantes al Club) 3 robots minisumos, y 2 robots de propósito general. En la Figura 3 se encuentran los robots que participaron en el cierre de actividades del 2011.

Uno de los primeros desarrollos del Club fue tomar un proyecto de hardware libre, el programador USBtiny [10], y adaptarlo a las necesidades del club. El programador fue evolucionando y terminó siendo adoptado como herramienta básica en varios cursos de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Otros proyectos completados, utilizados frecuentemente en las exposiciones y eventos de divulgación (ver sección V-D) son: un control de altura para helicóptero, un cubo de leds y un conjunto de robots controlados en forma inalámbrica (ver sección V-C).

### V-B. Competencias

Desde el 2009 el club participa regularmente, representando a la FIUBA, en la competencia anual organizada por el GRS [11]. La misma es reconocida a nivel nacional como una de las primeras en su tipo y en la cual participan varias universidades y colegios técnicos de todo el país. En la primera oportunidad que el Club de Robótica participó, en el 2009, presentamos un único robot en la categoría *Velocistas* (seguidores de línea). En el año 2010 presentamos tres robots en la categoría *Velocistas* y uno en la categoría *Minisumo*, con el que obtuvimos el tercer puesto. En la edición 2011 llevamos siete robots para la categoría *Velocistas* y tres para la categoría *Minisumo*.

En el año 2011, organizamos por primera vez desde el Club de Robótica una competencia abierta de robots seguidores de línea en la Facultad. Participaron varios equipos de estudiantes universitarios y también grupos de colegios técnicos secundarios. La competencia otorgó valiosos premios donados por Educación Tecnológica S.A. (LEGO Education), Atmel, Inarci y AADECA.



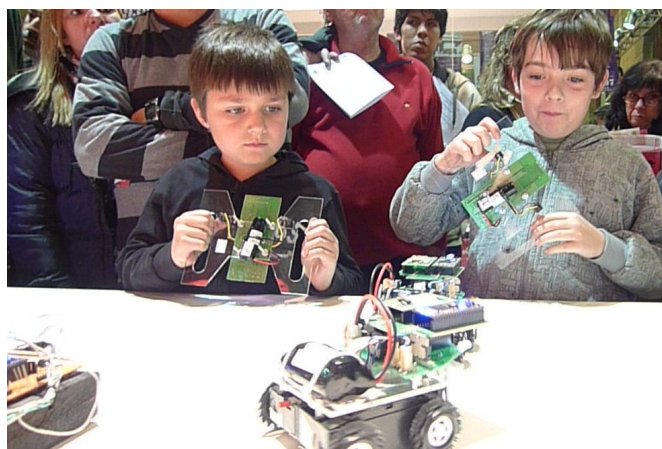


Figura 5. Participación del Club de Robótica en UBA190.

### V-C. Cursos

Dentro de las actividades de formación, el Club preparó y dictó un curso de introducción a los sistemas embebidos, denominado *Workshop Mbed*, en el Simposio Argentino de Sistemas Embebidos (SASE) del año 2010.

Para el curso diseñamos y construimos el *Mbed-car*, un robot autónomo seguidor de línea controlado por un microcontrolador de 32 bits. Se armaron 24 robots que fueron utilizados por 50 personas durante el taller. Al finalizar se hicieron carreras eliminatorias entre todos los participantes y la carrera final fue parte del evento que da cierre al Simposio. El taller se volvió a dar durante ese mismo año en la Universidad Nacional de Quilmes.

En el año 2011, se repitió el *Workshop Mbed* durante la siguiente edición del SASE. Se adaptó el *Mbed-car* para agregarle comunicación inalámbrica con un control remoto, también diseñado por el Club, el cual incluyó un acelerómetro triaxial para registrar los movimientos y un módulo de comunicación inalámbrica para enviar comandos al robot (ver Figura 5). También se diseñaron y armaron checkpoints inalámbricos y una pista estilo *off-road*. Se agregó sensado mediante RFID y se programó un sistema de gestión para la carrera. En la Figura 4 se muestra la pista durante la competencia final.

### V-D. Divulgación

Desde el Club de Robótica también buscamos contribuir a la difusión de las carreras y divulgación de la Ingeniería. En el 2010 participamos en ExpoUBA que fue una exposición realizada con la participación de todas las facultades de la Universidad de Buenos Aires orientada a difundir las carreras de la UBA entre los estudiantes de secundaria. En el 2011 participamos en los festejos de los 190 años de la UBA (UBA190), que se realizaron en el colegio Nacional de Buenos Aires.

El Club estuvo en el stand de la Facultad de Ingeniería mostrando sus proyectos en funcionamiento y promoviendo la carrera de electrónica. También participamos en la jornada de Laboratorios Abiertos de la FIUBA que tenía como objeto

difundir las actividades de investigación realizadas en la Facultad, como parte de las celebraciones de los 190 años de la UBA. A través de nuestro canal en YouTube [9] hacemos difusión de las distintas actividades del Club.

Permanentemente fomentamos que los estudiantes presenten el resultado de los trabajos que realizan en diversos congresos y conferencias. Un ejemplo de esto fue la publicación del diseño de dos ASICs, útiles para controlar un robot seguidor de línea [5][6].

## VI. DESAFÍOS ACTUALES

Uno de los desafíos más importantes que surgieron en estos tres años de experiencia fue lograr que los miembros adquieran los conocimientos necesarios para poder realizar los proyectos que se propongan, evitando su frustración y de esta manera, se mantengan motivados y participando. Es decir, mantener el equilibrio descrito por Csikszentmihalyi en [4].

Resolver este problema, debido a su complejidad, es todavía un desafío abierto para el Club. Se van a seguir probando diferentes enfoques como los actuales talleres (descritos en la sección IV-F) analizando sus resultados.

Otro punto importante es lograr un equilibrio entre el trabajo y el ocio que surge debido al ambiente relajado que se genera durante las reuniones. Este es un punto clave ya que el Club pretende ser un espacio que no genera exigencias más de las que los participantes mismos se imponen. La realimentación inmediata es importante para mantener la motivación sobre el proyecto, y esto sólo se logra cuando los participantes ven los frutos concretos de su esfuerzo. Un factor clave para lograr este resultado es crear constantemente nuevos objetivos a los que los miembros puedan apuntar. Seguimos en la búsqueda de mejores mecanismos para hacer más productivas las horas de reunión semanal.

## VII. CONCLUSIONES

Hemos observado que el éxito del Club se fundamenta en la compatibilidad de intereses entre los participantes y los requerimientos del Club. En nuestra experiencia los participantes no están interesados en contraer compromisos a largo plazo, ya que muchas veces las responsabilidades académicas, obligaciones laborales y otras actividades les impiden cumplir con una actividad con días y horarios fijos. La libertad que les provee el Club, a través de su mecanismo de membresía (ver sección IV-A), se ajusta bien a sus necesidades.

Participar de competencias externas, organizar las propias y exponer los logros en muestras, impone un cronograma a las actividades del Club. Esto es fundamental para incentivar el trabajo de los miembros del mismo. Al llegar a estos hitos los participantes deben concretar sus proyectos, consolidando los conocimientos adquiridos y cumpliendo con tiempos estipulados. De esta forma se reemplazan las instancias de evaluación, por eventos interesantes que motivan a todo el Club a mejorar de manera continua.

La jerarquización plana del Club, con todos sus miembros al mismo nivel sin distinciones, favorece la generación de confianza y la subsecuente fluidez en el intercambio. En general, los miembros encuentran en el Club un espacio para

socializar y aprender sin las aprensiones y formalismos de la educación tradicional.

Finalmente nos gustaría destacar que la robótica resultó ser un área de gran interés para personas de antecedentes diversos, desde ingenieros electrónicos hasta artistas plásticos. Esto sin dudas ayudó al crecimiento del Club y la hace ideal para presentar al público general las carreras técnicas.

#### VIII. AGRADECIMIENTOS

Los proyectos del Club de Robótica se realizan gracias al apoyo económico de la Facultad de Ingeniería y del Departamento de Electrónica de la institución. Es por eso que agradecemos especialmente al decano Dr. Carlos Rosito y al jefe de departamento Ing. Jorge Alberto.

No menos importante es el apoyo de otras empresas, instituciones y sus representantes: Santiago Morrison de Atmel y Alejandro Triay de Educación Tecnológica S.A. (LEGO Education), Texas Instruments y su programa de muestras y la Asociación Argentina de Control Automático.

#### REFERENCIAS

- [1] L. Diodati. "Experiencia de aprendizaje horizontal en la UBA: Club de Robótica y Mecatrónica". 1er Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería. 7 al 11 de octubre de 1996. Río Cuarto, Córdoba.
- [2] J.E. Mills, D.F. Treagust *Engineering Education – Is Problem-Based Or Project-Based Learning The Answer?*, Journal of Engineering Education, 2003
- [3] P.C. Blumenfeld, E. Soloway, R.W. Marx, J.S. Krajcik, M. Guzdial, A. Palincsar, *Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning*, Educational Psychologist, Volume 26, Issue 3-4, 1991
- [4] M. Csikszentmihalyi, *Beyond boredom and anxiety*, Publisher: Jossey-Bass, 1975
- [5] A. Burman, T. Gonzalez, G. Bassi, A.L. Chiesa, J. Lipovetzky, "Novel CMOS sensor array for Line Follower Mobile Robots", Congreso Argentino de Microelectrónica, Tecnología y Aplicaciones (CAMTA), Buenos Aires, Argentina, 2011
- [6] G. Bassi, A.L. Chiesa, T. Gonzalez, A. Burman, J. Lipovetzky, "Integrated DC motor driver with digital speed controller", Congreso Argentino de Microelectrónica, Tecnología y Aplicaciones (CAMTA), Buenos Aires, Argentina, 2011
- [7] M. Prince, R. Felder, *The many faces of inductive teaching and learning*, Journal of College Science Teaching, Vol. 36, No. 5, March/April 2007
- [8] G. Kleiman, *wIde: Web Integrated Development Environment*, Trabajo Profesional Ingeniería en Informática, FIUBA, 2011
- [9] Canal del Club de Robótica, <http://www.youtube.com/ClubdeRoboticaFIUBA>
- [10] Diseño original del programador USB, <http://www.ladyada.net/make/usbtinyisp/>
- [11] Grupo de Robótica y Simulación de la UTN Facultad Regional Bahía Blanca, <http://www.grsbahiablanca.com.ar/>
- [12] Administrador de proyectos libre Redmine, <http://www.redmine.org/>
- [13] Sistema de control de versiones distribuido y libre Mercurial, <http://mercurial.selenic.com/>
- [14] Herramienta de diseño electrónico libre Kicad, [http://kicad.sourceforge.net/wiki/Main\\_Page](http://kicad.sourceforge.net/wiki/Main_Page)
- [15] Suite de compiladores libre GCC, <http://gcc.gnu.org/>
- [16] Programa de diseño asistido por computadora QCad, <http://www.ribbonsoft.com/en/qcad>
- [17] Kit de prototipado rápido de aplicaciones electrónicas mbed, <http://mbed.org/>
- [18] Plataforma Libre ATSAM3S4B <http://www.gpl-license.net/>