

APRENDIZAJE INTERDISCIPLINARIO EN ROBÓTICA: LA EXPERIENCIA INNOVADORA DE DUCKIETOWN CHILE

Matías Mattamala^{1,2}, mmattamala@ing.uchile.cl
Gonzalo Olave^{1,2}, golave@ing.uchile.cl
Miguel Campusano^{1,3}, mcampus@dcc.uchile.cl
Cristopher Gómez^{1,4}, cristopher.gomez@ug.uchile.cl
Luz Martínez^{1,2}, luz.martinez@amtc.cl
Pablo Estefó^{1,3}, pestefo@dcc.uchile.cl
Joakin Ugalde^{1,4}, joakin.ugalde@ing.uchile.cl
Javier Urrutia^{1,2}, javier.urrutia.r@ug.uchile.cl
Felipe San Martín^{1,2}, felipe.sanmartin@ug.uchile.cl
Pablo Zúñiga^{1,5}, pablo.zuniga@ug.uchile.cl
Javier Carrasco^{1,3}, jcarrasco@ug.uchile.cl
Camila Villar^{1,5}, camila.villar@ing.uchile.cl
Rocío González^{1,2}, xgnzlz@gmail.com

¹ Duckietown Engineering Chile

² Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE), Universidad de Chile

³ Departamento de Ciencias de la Computación (DCC), Universidad de Chile

⁴ Departamento de Ingeniería Mecánica (DIMEC), Universidad de Chile

⁵ Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile

RESUMEN

Duckietown Chile es la primera reproducción del proyecto Duckietown del MIT en el hemisferio sur, como un curso de segundo año de la escuela de ingeniería en la Universidad de Chile. El proyecto original es un curso de postgrado para abordar la problemática de los vehículos autónomos bajo la perspectiva de un juego de roles.

En este trabajo se presenta la experiencia de implementar el curso para estudiantes de pregrado, manteniendo las características principales del proyecto original, además de incluir innovaciones propias como mejoras técnicas a la plataforma, cambios en los resultados de aprendizaje esperados y en la metodología para potenciar la experiencia.

El curso se está impartiendo durante el primer semestre del año 2017 a 18 alumnos de Plan Común de ingeniería de la Universidad de Chile, obteniéndose resultados preliminares satisfactorios respecto a la percepción del curso y las metodologías propuestas.

PALABRAS CLAVES: Interdisciplinariedad, Robótica, Juego de Roles, Aprendizaje Activo.

1. INTRODUCCIÓN

La robótica es una de las disciplinas con mayor impacto en la industria en los próximos años (McKinsey, 2017). Si bien en Chile actualmente no alcanza un nivel de desarrollo o importancia comparable al de otros países de Asia o Europa (International Federation of Robotics, 2016; Comunidad de Robótica UChile, 2016), es una disciplina que cuenta con un espacio en las mallas curriculares de diversas universidades del país (Comunidad de Robótica UChile, 2017). Particularmente, en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

(FCFM) de la Universidad de Chile, la robótica es enseñada dentro del programa de tres departamentos: Ingeniería Eléctrica (DIE), Ingeniería Mecánica (DIMEC) y Ciencias de la Computación (DCC), además de existir como temática dentro de un par de cursos que forman parte del Plan Común de ingeniería. Sin embargo, en la actualidad existen problemas que dificultan su difusión en la facultad. El primero respecta a los requisitos propios de los departamentos: Si bien actualmente es posible para alumnos de diversas carreras tomar los cursos que son parte de otras, en general se requiere que antes se cursen todos los prerrequisitos, lo cual termina siendo un desincentivo. Por otro lado, la robótica presenta diversas dificultades a la enseñanza, no solo por su perfil enormemente interdisciplinario en la teoría, sino también por la componente práctica que exige experiencias y materiales (robots) para poner en práctica los conceptos de forma adecuada.

La problemática anterior motivó a estudiantes que conforman la recientemente fundada Comunidad de Robótica de la FCFM¹ a tomar parte en el asunto. La Comunidad fue fundada por estudiantes de los departamentos de Ingeniería Eléctrica, Mecánica y Ciencias de la Computación, y actualmente cuenta con miembros de todos los departamentos de la FCFM. Su objetivo principal es impulsar y desarrollar la robótica de una forma interdisciplinaria a nivel principalmente estudiantil, a pesar de las diferencias en la orgánica de los departamentos.

Es así que, como una forma de impulsar la difusión y enseñanza de la robótica en todas las carreras, la Comunidad de Robótica propuso un *taller de robótica interdisciplinario*. Con este taller se busca nivelar los conocimientos impartidos por los tres departamentos y preparar a alumnas y alumnos de ingeniería interesados en robótica con los conocimientos básicos, basándose en la experiencia de los integrantes de la Comunidad en diversos proyectos robóticos de la facultad. Este taller está basado en la experiencia de *Autonomous Vehicles: Duckietown*², impartido en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) el año 2016, diseñado como un curso abierto y replicable para enseñar conceptos de autonomía.

El taller propuesto tuvo la posibilidad de ser impartido oficialmente bajo la categoría de un curso *Taller de Proyecto* de la FCFM, orientado a estudiantes de segundo año de ingeniería. Este curso, bajo el nombre *Duckietown: Desarrollando vehículos autónomos*, es la primera realización de Duckietown del MIT en el hemisferio sur³. Está siendo dictado el primer semestre del año 2017 a 18 alumnos de Plan Común de ingeniería e implementa diversas prácticas educativas innovadoras que abarcan desde los contenidos técnicos hasta las metodologías utilizadas. Si bien es la primera realización del curso y el semestre aún no finaliza, el presente trabajo tiene por objetivo compartir la experiencia y detalles de implementación, de modo que sirvan como antecedente a quienes deseen desarrollar iniciativas similares en el futuro próximo.

2. PRELIMINARES: DUCKIETOWN EN EL MIT

Duckietown es un proyecto desarrollado en el MIT para aprender los conceptos fundamentales del problema de autonomía (Tani *et al.*, 2016). El curso es un esfuerzo

¹ <https://www.facebook.com/RoboticaUChile>

² <http://duckietown.mit.edu>

³ <http://duckietown.mit.edu/outreach.html>

colaborativo de académicos, postdoctorados y estudiantes de pregrado y postgrado de dos laboratorios y tres departamentos, y busca motivar el desarrollo de vehículos autónomos, tema actualmente popular en la industria estadounidense (CB Insights, 2017).

El curso del MIT define como objetivo principal el entender cómo la integración de disciplinas distintas como teoría de control, visión computacional e inteligencia artificial permitan desarrollar sistemas complejos. Esto abarca tanto los problemas de *integración* como de *co-diseño*, entendidos como el diseño e implementación de sistemas complejos a partir de subsistemas más pequeños, y la optimización del rendimiento de un sistema teniendo en consideración sus recursos, respectivamente. El curso está enfocado en estudiantes de postgrado y se asume como requisito que estos cuentan con conocimientos básicos de programación, manejo de Linux y cursos previos de robótica.

Duckietown posee diversas características que lo diferencian de un curso habitual de ingeniería. En primer lugar, está el juego de roles: los integrantes del curso se presentan como una empresa ficticia (*Duckietown Engineering Co.*), donde el equipo docente asume el rol directivo de la empresa y equipo técnico, mientras que los estudiantes toman el rol de ingenieros en entrenamiento. Así, la empresa debía “implementar un servicio de taxis autónomos” para el pueblo ficticio de Duckietown, Estados Unidos, habitado por patitos de goma inmigrantes de Canadá⁴. Para ello, se construyó una ciudad miniatura con especificaciones físicas y “leyes de tránsito” que debían seguirse para asegurar el correcto desempeño de los vehículos.

Por otro lado, el equipo de Duckietown desarrolló una plataforma estándar, el *duckiebot*, para solucionar el desafío propuesto. El *duckiebot* es un robot diferencial⁵ (Siegwart *et al.*, 2011), que utiliza una Raspberry Pi⁶ como unidad de procesamiento, y una cámara gran angular como sensor principal. Sus especificaciones técnicas lo hacen una plataforma fácilmente replicable y versátil para diversas aplicaciones (Paul *et al.*, 2017).

Por último, es importante destacar la reproducibilidad y difusión de este proyecto. Duckietown es planteado bajo una filosofía *open source*, es decir, tanto el diseño, como los contenidos, software y especificaciones están abiertos a libre disposición para ser replicados en distintas instituciones para fomentar la enseñanza en robótica.

3. DISEÑANDO DUCKIETOWN CHILE

Nuestro curso *Duckietown: Desarrollando vehículos autónomos* explota fuertemente la componente *open source* del curso original del MIT y utiliza varias propuestas introducidas en este, pero también requirió plantear nuevas ideas para actualizarlas al contexto de los estudiantes y la sociedad chilena. Las similitudes y diferencias serán detalladas debidamente a lo largo de esta sección, donde se ahonda la implementación y puesta en marcha del curso.

⁴ Vale destacar la importancia que tiene el uso de patitos de goma en el curso original como un medio para crear vínculos afectivos con los robots utilizados, además de abordar problemáticas de género en cursos STEM. Ver (Tani *et al.*, 2016) para una mayor discusión sobre el impacto en el curso original.

⁵ Un robot diferencial es un robot móvil que posee dos ruedas para desplazarse

⁶ <https://www.raspberrypi.org/>

3.1 Diseño del curso: Definiendo los aprendizajes esperados

El curso que desarrollamos en la FCFM se presenta bajo el formato de *Taller de Proyecto*. Estos son cursos que cuentan con 3 SCT (sistema de crédito transferible) y está orientados a segundo año del Plan Común de Ingeniería⁷. Por ser un curso del tercer semestre, se asume que los alumnos ya cuentan con conocimientos de cálculo diferencial e integral, álgebra lineal, física newtoniana, y programación científica y orientada a objetos. Si bien la robótica se sustenta fuertemente en estas materias, los estudiantes no cuentan con la experiencia de aplicarlos para solucionar problemáticas de la disciplina.

Con estos antecedentes, el objetivo principal del curso es introducir conceptos básicos de robótica móvil con una fuerte componente práctica. Se propone además desarrollarlo en un entorno interdisciplinario y colaborativo que asemeje el mundo real (Sección 3.2). El programa y contenidos se definen en base a resultados de aprendizajes esperados (*intended learning outcomes, ILO*), de modo análogo al curso del MIT, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Resultados de aprendizajes esperados

1. Construyan y utilicen un robot funcional	Construir basándose en el kit entregado y las instrucciones Reconocer las partes principales del robot Demostrar la correcta operación de este
2. Usen herramientas de desarrollo de software genéricas	Uso de Linux: terminal, comandos Unix, conexiones ssh Utilizar sistemas y servicios de control de versiones: Git, GitHub Herramientas colaborativas: Slack
3. Usen herramientas específicas de robótica	Desarrollar software con ROS ⁸ (Quigley <i>et al.</i> , 2009) Utilizar herramientas de apoyo a ROS: <i>rqt</i> , <i>Rviz</i> .
4. Desarrollen soluciones para problemas de robótica	Control: Controlar remotamente un robot móvil Visión computacional: Detectar automáticamente objetos en imágenes Localización: Calcular la ubicación del robot en base a sus percepciones Autonomía: Implementar distintos <i>niveles de autonomía</i> (SAE, 2016) Solucionen problemáticas específicas mediante un proyecto
5. Desarrollen habilidades profesionales	Desarrollar un proyecto multidisciplinario en equipo Presentar públicamente resultados del trabajo realizado Documentar el trabajo realizado para su posterior reproducción Presentar noticias relacionadas a las temáticas del curso Organizar actividades recreativas dentro del curso: coffee breaks Comunicarse efectivamente dentro de una institución con otros integrantes para lograr objetivos específicos

3.2 Plataforma: Optimizando el duckiebot

La plataforma utilizada corresponde al mismo *duckiebot* del MIT. Con el fin de actualizar la plataforma a hardware más moderno y reducir costos, se realizaron algunas modificaciones al diseño del robot. Particularmente, se utilizó la plataforma Raspberry Pi 3 en reemplazo a la

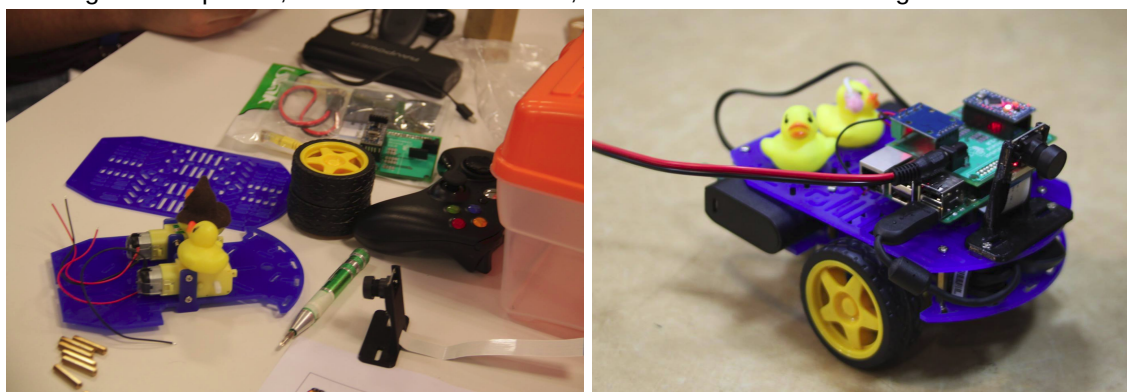
⁷ <http://escuela.ingenieria.uchile.cl/pregrado/124063/mallas-curriculares>

⁸ ROS: Robot Operating System. <http://www.ros.org>

versión 2, lo que permitió reducir el costo de adaptadores WiFi USB debido a que cuenta con WiFi integrado, además de mejorar especificaciones técnicas como memoria RAM y procesador. Por otro lado, debido al alto costo de las placas Adafruit para el control de motores, se diseñaron y fabricaron unas alternativas (*Duckiebot Shield*) basadas en Arduino⁹.

Cada duckiebot se entrega en una caja junto a otras componentes necesarias para el desarrollo, como un control inalámbrico de Xbox 360, un cable ethernet y una batería de 13400mAh, conformando un *kit* (Figura 1). Los kits se entregan inicialmente desarmados y los mismos estudiantes deben realizar el ensamblaje, como fue especificado en los resultados de aprendizaje esperados (Sección 3.1).

Figura 1: Izquierda, kit desarmado. Derecha, duckiebot armado con inmigrantes a bordo



3.3 Contexto: Creando una empresa y roles ficticios

Siguiendo el ejemplo de Duckietown original, en el curso también se desarrolló una empresa ficticia para seguir el juego de roles, además de una problemática acorde a la realidad nacional.

a. *Empresa ficticia*. La característica original de la empresa fue adaptada bajo la empresa ficticia *Duckietown Engineering Chile*, presentándola como un *spin-off* de la empresa original, contando con página web oficial¹⁰, página en Facebook¹¹ y LinkedIn¹². El equipo docente asumió títulos directivos en inglés cómo lo utilizan habitualmente emprendimientos en Chile y el extranjero (i.e.: *Chief Executive Officer* (CEO), *Chief Operating Officer* (COO), *Chief Technology Officer* (CTO), entre otros), y los estudiantes el rol de *ingenieros trainee* contratados mediante el programa de entrenamiento de la empresa. Análogamente, se siguió el enfoque original de presentarse a los alumnos como directivos, manteniendo una vestimenta acorde, que correspondía a una corbata con patos y una credencial (Figura 2).

b. *Problemática ficticia*. Como el desafío de desarrollar vehículos autónomos *per se* no corresponde a la realidad chilena actual, se cambió por la solución de problemas de monitoreo en agricultura en los campos de *Doña Patricia* y *Don Patricio*, los cuales estaban siendo operados por los mismos habitantes de Duckietown original, pero que “*emigraron debido a las problemáticas migratorias de Estados Unidos*”. Los vehículos de monitoreo

⁹ <https://github.com/duckietown-chile>

¹⁰ <http://www.duckietown.cl>

¹¹ <http://www.facebook.com/duckietowncl>

¹² <https://www.linkedin.com/company/duckietown-engineering-chile>

consisten en *duckiebots* semi-autónomos controlados híbridamente por información visual y un control remoto, y deben operar en una zona con sectores urbano y rural. De este modo, los ingenieros e ingenieras trainee tienen por objetivo completar el programa de entrenamiento y generar soluciones para controlar los vehículos y monitorear los campos.

Figura 2: Tanto el capacitador/a (izquierda), como el resto del equipo (centro) utilizan la indumentaria oficial durante las capacitaciones. Ingenieros/as trainee utilizan sólo credencial (derecha)



3.4 Integrando todo para una experiencia inmersiva

Los objetivos planteados, altamente técnicos, y el contexto basado en la empresa ficticia, plantearon diversas dificultades para que la experiencia basada en juego de roles fuera consistente, ya que la presentación de contenidos técnicos aparentaba mantener el enfoque de un curso tradicional. De este modo, se aplicaron diversas medidas para consolidar la experiencia, las cuales se detallan a continuación:

a. *Cambio del lenguaje.* En Duckietown Chile no se habla del concepto de *clase* sino *capacitación*, así mismo, no hay *profesores* sino *capacitadores*. Del mismo modo, otra regla planteada fue el referenciar a cualquier persona por su nombre, no por su cargo.

b. *Cambio de plataforma oficial.* U-Cursos¹³, plataforma web desarrollada por el Área de Infotecnologías (ADI), es el medio de comunicación estándar en la FCFM. Si bien posee todas las características requeridas por el curso, se propuso un medio de comunicación alternativo, Slack, para que los estudiantes conocieran una herramienta altamente utilizada por grupos de trabajo de todo el mundo (Slack, 2017).

c. *Vinculación con la empresa.* En la primera clase, donde se realiza la introducción a la empresa (ver Sección 3.5), los estudiantes/ingenieros trainee deben firmar un contrato ficticio (con un matiz humorístico) que establece las condiciones de trabajo y compromisos con la empresa. Una vez hecho eso, reciben una credencial con su nombre y cargo, como también un inmigrante de Duckietown (patito de goma) bajo su responsabilidad.

d. *Actividades corporativas.* Se plantearon dos actividades que debían ser organizadas por grupos de estudiantes. En primer lugar, la “*noticia de la semana*” consistía en una presentación de una temática actual; se discutían desde nuevas tecnologías hasta implicancias éticas y filosóficas. La otra consistía en el *coffee break*, el cual debían organizar ellos mismos y era reembolsado posteriormente.

¹³ <https://www.u-cursos.cl>

e. *Momento “sin corbata”*. Debido a que la idea podría resultar disruptiva en las primeras clases, se planteó la opción de permitir a los estudiantes, en momentos específicos, la posibilidad de formular preguntas y consultas en un contexto de curso tradicional. Para ello, el equipo docente se quitaban sus indumentarias de empresa (corbata y tarjeta de identificación), además de cambiar el estilo corporativo de las diapositivas utilizadas.

3.5 Implementación: Poniendo en marcha la empresa

Con los aprendizajes esperados y el contexto de empresa ya presentados, en esta sección se presenta la metodología del curso y de cada clase.

a. Metodología del curso: Programa de entrenamiento

Los cursos de la FCFM tienen 15 semanas de clases con un periodo de dos semanas de exámenes. Los aprendizajes esperados especificados en la Sección 3.1 se utilizaron como guía para separar el curso en tres etapas que corresponden -en el mundo ficticio-, a las tres fases del *Programa de entrenamiento de Duckietown Chile* que deben seguir los estudiantes durante las 15 semanas de clases; este fue presentado a los estudiantes como el “roadmap” de la empresa y se explica en la Tabla 2.

Tabla 2: Metodología del curso (Roadmap del Programa de Entrenamiento de Duckietown Chile)

Etapas del semestre	Fase	Descripción
15 semanas de clases	Fase I: Presentación y preparación	Presentación de la empresa, equipo, problemática y compromisos Construcción de plataforma (<i>duckiebots</i>) Nivelación de conceptos básicos de Linux y ROS
	Fase II: Conocimientos técnicos	Conceptos de control de robots Conceptos de percepción (visión computacional) Conceptos de localización
	Fase III: Desarrollo de proyectos	Desarrollo de una solución específica para la empresa (proyectos de corto plazo). Ver Sección 2.4c
Periodo de exámenes	Demostración final	Preparación de un pitch para presentar desarrollos y demostrar lo realizado

b. Metodología de clases: Capacitaciones

Las clases de Duckietown se conocen con el nombre de *capacitaciones*. Estas seguían una estructura definida, donde se desarrollaba tanto la clase de la semana como las “actividades corporativas”. Esta estructura es presentada en la Tabla 3.

En esta versión, cada capacitación ocupa una sola sesión a la semana que consistía en 4 bloques pedagógicos (3 horas) de clases. Entendiendo las dificultades que presenta el tener horas lectivas por esta cantidad de tiempo, la metodología de clases procuraba fomentar el aprendizaje activo de los estudiantes en cada sesión (Freeman *et al.*, 2014); además, establecía un descanso fijo -fuera del recinto de clases-, una vez pasados los dos primeros bloques pedagógicos, donde se realizaba el *coffee break* (Sección 3.4d).

Las capacitaciones están a cargo de un capacitador/a, que corresponde al profesor/a de la clase. El capacitador/a cambia dependiendo del contenido de la clase, acorde a su experiencia con los conocimientos a entregar. Además del capacitador/a, el resto del equipo también está presente en las sesiones, con el fin de tanto apoyarlo durante la clase, como también resolver dudas personalizadas durante las actividades prácticas. El equipo docente de este semestre cuenta con 14 personas, entre estudiantes de pregrado y postgrado.

Los estudiantes trabajaban en parejas, y cada equipo contaba con un kit *duckiebot* (Sección 3.2) asignado al grupo por todo el semestre. En esta oportunidad, cada equipo utilizó notebooks personales para desarrollar su trabajo y fueron asistidos con la instalación de Ubuntu, ROS, y el resto del software requerido.

Tabla 3: Metodología de clase (Programa de cada capacitación)

Actividad	Descripción
1. Noticia de la semana	Primera actividad de cada capacitación Presentación de una noticia a cargo de un equipo, con posterior discusión
2. Anuncios corporativos	Avisos generales que iban desde el estado del roadmap hasta anuncios varios de la sesión.
3. Capacitación, parte I	Generalmente en la primera parte se presentan los fundamentos teóricos, intercalando actividades prácticas dependiendo del tema.
4. Coffee Break	Cada equipo debía comprar los preparativos cada semana, con un tope máximo de dinero que era posteriormente reembolsado.
5. Capacitación, parte II	Segunda parte de la capacitación, enfocada en resolver una problemática específica (ej: control remoto del robot, detectar patitos de goma).
6. Cierre	Anuncios generales basados en lo observado en la sesión, repetición de anuncios corporativos

c. Proyectos propuestos

Como fue indicado en la Sección 3.5, la Fase III consiste en el desarrollo de proyectos. Los proyectos podían estar conformados por más de uno de los equipos inicialmente conformados (*i.e.* más de dos personas), y eran responsabilidad de un mentor/a, quien debía tener los conocimientos necesarios para guiarlos.

Estos fueron planteados como desarrollos específicos de corto plazo que requería la empresa para lograr sus objetivos; para proponer las temáticas la principal consideración fue el tiempo disponible para desarrollarlos (alrededor de 5 semanas). Los proyectos desarrollados el semestre de Otoño 2017 fueron implementar un detector robusto de inmigrantes (patitos de goma), detectores de frutas y de líneas; mejorar el sistema de auto-localización de los *duckiebots*, uso de lenguajes de programación de comportamientos como Live Robot Programming - LRP (Campusano & Fabry, 2017) y mejoras generales del software utilizado con un enfoque de ingeniería de software.

Finalmente se pide que los proyectos sean documentados, tanto a nivel de código como de procedimientos, para su posterior replicación.

d. Demostración final

Para presentar los resultados de los desarrollos realizados en la Fase III, se propone realizar una demostración final a invitados externos, presentados como “inversionistas y socios de la empresa, interesados en conocer cómo se están invirtiendo los fondos”. El objetivo es dar cuenta de los desarrollos y enfrentar a los equipos a preparar una presentación en formato *pitch*. Esta demostración se llevará a cabo durante la segunda semana de Julio.

3.6 Evaluación: Midiendo el avance de los trainees

Por último, respecto a la evaluación de los alumnos en el curso, esta también se realizó en un contexto de empresa, considerándose tres categorías principales de evaluación:

a. Compromiso con la empresa. Considera la asistencia y el cumplimiento de actividades como la preparación del coffee break y la noticia de la semana. Dado que las clases en la FCFM no son obligatorias, se evaluó positivamente el justificar las inasistencias.

b. Aporte de Investigación y Desarrollo (I+D). Desarrollo exitoso del proyecto de la Fase III, con el código y documentación.

c. Espíritu de equipo. Coevaluación de los integrantes de equipo.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Dado que el curso aún no ha concluido, faltando aún la demostración final agendada para el periodo de exámenes, en esta sección se reportan resultados preliminares de la percepción de los estudiantes respecto al curso y las metodologías implementadas.

a. Muestra. El grupo de estudiantes consiste en 18 alumnos. Originalmente se inscribieron 20 alumnos (el máximo para este tipo de cursos), pero dos estudiantes eliminaron el curso a mediados del semestre por motivos personales.

b. Conocimientos previos. Una encuesta inicial aplicada sobre 19 alumnos entregó indicios respecto a los conocimientos específicos de los estudiantes antes de empezar el curso que serían abordados posteriormente en el curso. Respecto al uso de Linux, 14 de 19 alumnos declararon saber nada, mientras que 5 mencionaron tener conocimientos básicos. Respecto a su experiencia con robótica, 10 de 19 indicaron que su única experiencia era “haber visto uno en la tele”(sic), 7 declararon tener “un poco de experiencia”, y sólo 2 habían construido uno o trabajado con simuladores.

c. Retroalimentación temprana. Con la ayuda del Área de Aprendizaje en Ingeniería y Ciencias (A2IC) de la FCFM, en la sexta clase se aplicó un instrumento para medir la percepción de grupos de alumnos del curso respecto a las fortalezas del curso y recomendaciones para mejorar. Respecto a las fortalezas, se manifestó consenso sobre el apoyo personalizado y diversificado del equipo docente (4 de 4 grupos), el carácter principalmente práctico del curso, y valoración del juego de roles (2 de 4). Las recomendaciones refirieron principalmente a entregar más material de apoyo de comandos usados en clase (4 de 4) y ver algunos conceptos con mayor profundidad (2 de 4).

d. *Encuesta docente de mitad de semestre.* Un instrumento de evaluación aplicado en los cursos de la FCFM es la Encuesta Docente. Esta se aplica en la séptima semana de clases para realizar una evaluación general del equipo docente y dar comentarios, y al final del semestre para con mayor detalles. En la evaluación de mitad de semestre, el equipo docente (14 personas) obtuvo un 6.6 en promedio, con todas las notas superiores a 6.2.

5. CONCLUSIONES Y DESAFÍOS

El presente trabajo presentó la experiencia de adaptar e implementar el curso Duckietown del MIT a estudiantes de segundo año de ingeniería en la FCFM de la Universidad de Chile. El proyecto ha sido exitoso, ya que 18 alumnos han sido capaces de progresar en el desarrollo de vehículos semi-autónomos a pesar de tener escaso o nulo conocimiento inicial de Linux, ROS, y otras herramientas específicas de robótica. El curso implementó diversas estrategias de juego de roles para crear una experiencia inmersiva, lo que ha tenido buena aceptación en los estudiantes y la comunidad.

Como desafíos futuros, lo principal es la *replicabilidad*. Este es un tema que afecta transversalmente el proyecto, y se debe principalmente a la dependencia del capital humano que desarrolló curso. Algunos desafíos que se reconocen son:

a. *Tamaño del equipo.* Como ya fue mencionado, el equipo docente consistió en alrededor de 14 personas. Esto implica graves dificultades de financiamiento para la mayor parte de las instituciones educativas de educación superior, siendo en esta oportunidad solamente posible gracias a la motivación y voluntariado de las personas que conformaron este proyecto.

b. *Conocimientos específicos y experiencia.* El cuerpo docente consistió en un grupo diverso y único de estudiantes de distintas disciplinas que ya contaban con experiencia práctica en distintos proyectos de robótica de la FCFM, además de contar con estudiantes de postgrado realizando investigación en diversas áreas de la disciplina.

c. *Rango etéreo.* Por último, reiterando que el equipo docente fueron estudiantes, esto implicó que la brecha etaria entre profesores y alumnos no es más de 10 años, lo que produce diversas ventajas en términos de las referencias culturales, lenguaje, percepción y cercanía entre ambos.

Una vez finalizado el curso en las próximas semanas, se trabajará para dejar disponible a la comunidad los materiales de clase, software e instrucciones específicas para replicar proyecto, en el sitio web <http://duckietown.cl>

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el programa "*Estímulo para proyectos académicos de estudiantes de postgrado de la Universidad de Chile*" del Departamento de Postgrado y Postítulo del año 2016-17.

Los autores agradecen al equipo de Duckietown del MIT por poner a disposición el material del curso.

Además, se agradece personalmente a: Eugenio Bravo (Área de Ingeniería e Innovación, FCFM) por permitir la realización del taller como un curso oficial, además de otras gestiones; Andrés Caba (DIE) por las recomendaciones y redes de contacto; Milena Galetovic (DIE), por su tremenda gestión y ayuda para postular al fondo, Javier Ruiz-del-Solar (DIE) y Alexandre Bergel (DCC) por sus cartas de recomendación para conseguir los fondos; Rodrigo Muñoz (DIE), por diseñar parte de los sistemas de comunicación de los

duckiebots; Francisco Casado (DIE), por las labores de ensamblaje de las placas de desarrollo; Alejandro González (DCC), por ayudar con la página web y otras labores durante la puesta en marcha; Rodrigo Delgado (DCC) y José Astorga (DIE) por su apoyo durante las clases en las últimas sesiones del semestre; Carolina Mathieson (Área de Aprendizaje en Ingeniería y Ciencias, A2IC) por la ayuda con la Retroalimentación Estudiantil Temprana; Danisa Peric (Fablab 851) por facilitar el espacio del Fablab durante la Fase III; Francisco Molina (OpenLab) por facilitar el espacio para la actividad de cierre; y Sergio Celis (Escuela de Ingeniería, FCFM) por incentivar la publicación de esta experiencia.

REFERENCIAS

Campusano, M., Fabry, M. (2017). *Live Robot Programming: The Language, its Implementation, and Robot API Independence*. Science of Computer Programming, volume 133, pp.1-19, Elsevier.

CB Insights (2017). *44 Corporations Working On Autonomous Vehicles* [En línea] Disponible: <https://www.cbinsights.com/blog/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/> (Acceso: 02/07/2017)

Comunidad de Robótica UChile (2016). *Catastro de empresas y organizaciones de robótica en Chile*. Reporte Técnico. [En línea] Disponible: <https://goo.gl/FCEUdn>

Comunidad de Robótica UChile (2017). *Catastro de cursos de robótica de universidades chilenas*. Reporte Técnico. [En línea] Disponible: <https://goo.gl/scY6iV>

Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., Wenderoth, M.P. (2014). *Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics*. Proceedings of the National Academy of Sciences 111(23) 8410–8415

International Federation of Robotics, IFR (2016). *World Robotics Report 2016*. [En línea] Disponible: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-report-2016> (Acceso: 02/07/2017)

McKinsey Global Institute (2017). *A future that works: Automation, employment, and productivity*. [En línea] Disponible: <http://www.mckinsey.com/global-themes/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works> (Acceso: 02/07/2017)

Paull, L., Tani, J., Ahn, H., Alonso-Mora, J., Carlone, L., Cap, M., Chen Y. F., Choi, C., Dusek, J., Hoehener, D., Liu, S., Novitzky, M., Okuyama, I. F., Pazis, J., Rosman, G., Varricchio, V., Wang, H., Yershov, D., Zhao, H., Benjamin, M., Carr, C., Zuber, M., Karaman, S., Frazzoli, E., Del Vecchio, D., Rus, D., How, J., Leonard, J., Censi, A. (2017). *Duckietown: an Open, Inexpensive and Flexible Platform for Autonomy Education and Research*. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).

SAE International. (2016). *J3016A: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. [En línea] Disponible: http://standards.sae.org/j3016_201609/ (Acceso: 29/06/2017)

Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots*. MIT press.

Slack (2017). *Customer stories*. [En línea] Disponible: <https://slack.com/customers> (Acceso: 29/06/2017)

Tani, J., Paull, L., Zuber, M. T., Rus, D., How, J., Leonard, J., & Censi, A. (2016). *Duckietown: an innovative way to teach autonomy*, EduRobotics 2016.

Quigley, M., Gerkey, B., Conley, K., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Berger, E., Wheeler, R., Ng, A. (2009). *ROS: an open-source Robot Operating System*. In ICRA workshop on open source software (Vol. 3, No. 3.2, p. 5).