



Universidad Nacional del Comahue  
Centro Regional Universitario Bariloche

**Ciencia ciudadana y herramientas de control a campo aplicadas al monitoreo y manejo de una invasión biológica**

Victoria Campopiano Robinson  
2023

Trabajo final para optar por el título de Licenciada en Ciencias Biológicas

**Directora:** Marina P. Arbetman

**Co-Directora:** Carolina L. Morales

**Lugar de Trabajo:** Grupo Ecología de la Polinización - INIBIOMA, S.C. de Bariloche

**Contacto:** vickycampopiano@gmail.com

# Índice

<b>Índice</b>	<b>1</b>
<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Introducción</b>	<b>3</b>
Invasiones biológicas y sus impactos	3
<i>Bombus terrestris</i> : una invasión en progreso	5
La ciencia ciudadana como herramienta de investigación	8
Dificultades de la ciencia ciudadana	11
Control poblacional de especies invasoras: aproximación experimental	12
<b>Objetivos, hipótesis y predicciones</b>	<b>13</b>
<b>Materiales y Métodos</b>	<b>14</b>
Primera parte: Proyecto de Ciencia Ciudadana	14
Segunda parte: Remoción de reinas de <i>Bombus terrestris</i>	19
<b>Resultados</b>	<b>26</b>
Proyecto “Vi Un Abejorro”	26
Ciencia ciudadana vs Monitoreos tradicionales a campo	32
Proyecto de remoción de reinas de <i>B. terrestris</i>	34
<b>Discusión</b>	<b>39</b>
<i>Bombus</i> y ciencia ciudadana: primera aproximación	39
Vi Un Abejorro: consideraciones a futuro	42
Remover <i>B. terrestris</i> de la naturaleza: un largo camino por recorrer	45
Conclusiones finales	47
<b>Anexo</b>	<b>49</b>
Parte 1: Ciencia ciudadana	49
Redes sociales utilizadas por el público para registrar a las distintas especies de <i>Bombus</i>	49
Mapas de distribución de las especies de <i>Bombus</i> realizados por trabajos previos, referenciados en este escrito.	50
Parte 2: Proyecto de remoción de reinas de <i>B. terrestris</i> .	54
Resultados de los análisis estadísticos del experimento de remoción de reinas de <i>B. terrestris</i> .	54
Modelo 1	54
Modelo 2	54
Modelo 3	55
Modelo 4	55
<b>Bibliografía</b>	<b>57</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>63</b>

# Resumen

Las especies invasoras pueden afectar a las especies nativas de los ecosistemas invadidos. El abejorro europeo, *Bombus terrestris*, es una de las abejas invasoras más exitosas en regiones templadas alrededor del mundo. Esta especie invadió la Patagonia argentina, donde rápidamente se volvió más abundante que el único abejorro nativo, *Bombus dahlbomii*, el cual hoy en día se encuentra categorizado según la UICN como en peligro de extinción. En este trabajo, desarrollo un proyecto de ciencia ciudadana con el objetivo de evaluar su alcance a lo largo del país y su contribución al conocimiento de la distribución de las especies de *Bombus* presentes en Argentina, comparo la presencia y la abundancia relativa de *B. terrestris* y *B. dahlbomii* obtenidas por dicho proyecto con la obtenida por muestreos a campo, y evalué la efectividad de la remoción manual de reinas fundadoras de colonias de *B. terrestris* como estrategia de control poblacional. En conjunto, los resultados aquí presentados muestran que la ciencia ciudadana es una herramienta que permite reunir información sobre la presencia de abejorros en amplias áreas geográficas, lo que permitiría mantener actualizadas sus distribuciones. También, que la remoción manual de *B. terrestris* tiene una muy baja efectividad debido a la escala de la invasión, la abundancia de la especie y el bajo éxito de captura manual. En conclusión, la articulación entre la ciencia ciudadana y los estudios a campo permite obtener una visión amplia sobre distintos aspectos de la invasión de *B. terrestris*, y representa una aproximación novedosa para estudiar procesos ecológicos en general, como lo son las invasiones biológicas, y planificar estrategias de manejo y control.

## Palabras clave

Bombus, ciencia ciudadana, especies invasoras, remoción de especies.

## Abstract

Invasive species can affect native species of invaded ecosystems. *Bombus terrestris*, the european bumblebee, is one of the most invasive bee species in temperate regions around the world. This species invaded the argentinean Patagonia, where it became more abundant than the only native bumblebee species, *Bombus dahlbomii*, which is categorized as “endangered” by IUCN. In the present study, I develop a citizen science project with the objective of monitoring the distribution of *Bombus* species present in Argentina, I compare the occurrences and relative abundances of *B. dahlbomii* and *B. terrestris* obtained by this project and by a field survey, and I evaluate the effectiveness of a field removal experiment, in which I removed nest-funding queens of *B. terrestris* as a strategy for population control. Altogether, results exposed here show that citizen science is a useful tool for gathering information about bumblebee presence in vast geographical areas, which could be helpful for updating species’ distributions. Also, that the removal of *B. terrestris* has a very low effectivity due to the abundance and scale of the invasion, as well as the low manual capture success. Overall, it is observed that the linkage between citizen science and field experiments offer a wide vision of different aspects of *B. terrestris* invasion, and a novel approach for studying

ecological processes, like biological invasions, and for planning strategies for population management and control.

#### Key words

Bombus, citizen science, invasive species, species removal.

## Introducción

### Invasiones biológicas y sus impactos

Las invasiones biológicas representan uno de los motores de cambio global que el mundo está atravesando actualmente (Díaz et al. 2019). Los procesos de invasión pueden impactar sobre los ecosistemas a distintas escalas, interviniendo en las interacciones entre especies (por ejemplo los mutualismos, como la polinización mediada por animales), modificando la dominancia entre distintos grupos de plantas y animales, aumentando la frecuencia y la severidad de transmisión de patógenos y exacerbando procesos de extinción, entre otras cosas (Mack et al. 2000; Tylianakis et al. 2008; Brook et al. 2008).

Si bien el movimiento de especies de un lugar a otro ha ocurrido en todas las regiones del mundo de forma natural, la intensa actividad humana alrededor del globo, incluido el traslado intencional o accidental de organismos a nuevas regiones, ha facilitado y acelerado este fenómeno, favoreciendo la ocurrencia de nuevas y más rápidas invasiones biológicas (Ricciardi 2007). Una especie exótica es aquella que se encuentra en un área geográfica distinta a donde es nativa, habiendo llegado ahí por sus propios medios, o por ser trasladada (ya sea de forma intencional como accidental). Sin embargo, no todas las especies exóticas se vuelven invasoras. Una especie exótica se convierte en invasora cuando comienza a proliferar con éxito en el nuevo hábitat, logrando abundancias tales que altera el ecosistema receptor nativo y afecta a las especies que allí habitan (Walker y Steffen 1997; Simberloff 2013). Pero esta definición no es estática, ya que una misma especie puede ser exótica en un lugar, e invasora en otro, dependiendo del contexto. Por lo tanto, uno de los más grandes desafíos que presentan las invasiones, es la de ser identificadas en estadios tempranos, donde aún existen posibilidades de erradicación (Hui y Richardson 2017).

Las invasiones de polinizadores, en particular, están bien estudiadas. En una de las primeras revisiones sobre el tema, Goulson (2003) resume los principales

impactos documentados de abejas introducidas, tanto sobre los polinizadores como en la flora nativa. Estos impactos incluyen la competencia por sitios de nidificación, la transmisión de patógenos y, dado que las flores contienen polen y néctar, fundamentales para la alimentación de los polinizadores, los introducidos compiten con los nativos por estos recursos florales, roban néctar cuando son incapaces de manipular la flor, y muestran una preferencia por las especies exóticas de plantas. Esto último, al favorecer la reproducción de especies exóticas puede, a su vez, abrir la puerta a nuevas invasiones (Stout et al. 2002), dando lugar a un proceso de retroalimentación positiva entre plantas y polinizadores exóticos (Morales y Aizen, 2002).

Mientras algunas especies invasoras de polinizadores incrementan en número y colonizan nuevas áreas geográficas, muchas especies nativas resultan cada vez más raras de encontrar, particularmente en las últimas décadas, lo cual impulsó la publicación de una importante cantidad de trabajos científicos que exploran un posible nexo entre ambos fenómenos (Stout y Morales 2009). Desde la década de 1990, se viene observando una fuerte declinación global de la riqueza de especies de polinizadores, siendo las invasiones biológicas uno de los principales procesos vinculados a esta tendencia, junto con otros motores como el cambio en el uso de la tierra (lo cual lleva a la fragmentación y pérdida del hábitat), al uso intensivo de pesticidas (que pueden ser letales o subletales, y afectar la capacidad de los polinizadores para aprender, forrajear y memorizar información relevante, como por ejemplo, dónde se encuentran sus nidos), la contaminación y el cambio climático, y la posible combinación entre dos o más de estos factores (Steffan-Dewenter et al. 2002; Thomson 2006; Yang et al. 2008; Goulson et al. 2008; Williams y Osborne 2009; Winfree et al. 2009; Goulson 2013; Zattara y Aizen 2021). Entonces, teniendo en cuenta el impacto de las invasiones biológicas, explorar los patrones de distribución de especies de polinizadores exóticos y nativos es esencial para entender si el avance o la abundancia de los primeros están explicando el retroceso de los segundos.

### *Bombus terrestris*: una invasión en progreso

Uno de los polinizadores invasores más exitosos en regiones templadas es el abejorro europeo, *Bombus terrestris*, el cual es ampliamente comercializado para la polinización de cultivos, y es considerado como una especie invasora en distintos

países como Argentina (Morales et al. 2013), Chile (Fontúrbel et al. 2021), Israel (Dafni et al. 2010), Australia (en particular, en la isla de Tasmania) (Hingston et al. 2002; Stout et al. 2002) y Japón (Inoue et al. 2008). Esta especie, al ser de gran importancia para el sector agrícola por su servicio de polinización, es criada comercialmente en diversos países y sus colonias son exportadas alrededor del mundo, por lo que constantemente es introducida a los distintos ecosistemas, lo cual aumenta su abundancia y, por lo tanto, favorece la invasión (Velthuis y van Doorn 2006; Lecocq et al. 2016). Múltiples estudios muestran los impactos negativos que los abejorros invasores han traído a los polinizadores y plantas nativas en distintas partes del mundo y, en particular, la amenaza que *B. terrestris* representa para los distintos ecosistemas (Goulson et al. 2008; Inoue et al. 2008; Kraus et al. 2011; Morales et al. 2013; Chalcoff et al. 2022).

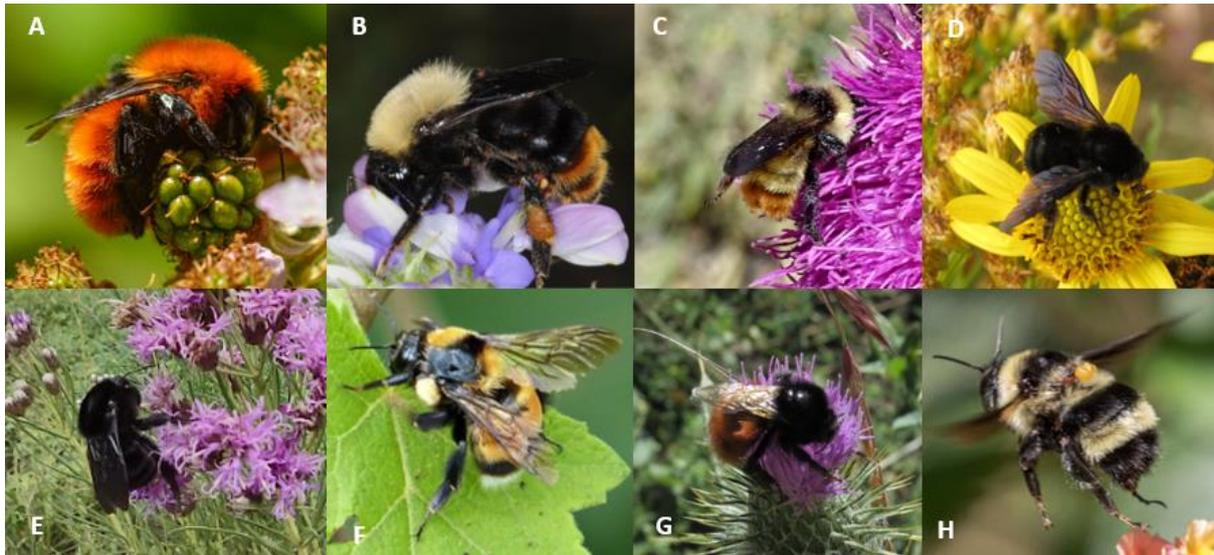
El éxito de esta especie está vinculado a su capacidad para tolerar amplios rangos de condiciones climáticas (Heinrich 1979), al gran tamaño de sus colonias, al uso generalista de los recursos florales (siendo capaz de polinizar efectivamente tanto plantas nativas como introducidas), a su capacidad para proliferar en zonas disturbadas (Morales 2007; Dafni et al. 2010; Montalva et al. 2011; Morales et al. 2013; Chandler et al. 2019) y a su emergencia temprana, la cual le permitiría ocupar sitios de nidificación y agotar los recursos florales incluso antes de que los abejorros nativos salgan de la hibernación (Dafni et al. 2010; Morales et al. 2013).

Esta especie fue introducida en Chile en los años 1996-97 para la polinización de cultivos. Rápidamente se naturalizó y se expandió en el territorio chileno, logró cruzar la cordillera de los Andes, y se registró por primera vez en Argentina en el año 2006 (Torretta et al. 2006), donde se estableció y aumentó su abundancia a gran escala, a tal punto que es considerada en la actualidad como una especie invasora en la región patagónica de Argentina (Morales et al. 2013) y Chile (Montalva et al. 2011). Si bien en Argentina la importación de colonias de *B. terrestris* nunca fue aprobada, cada año desde 1998, el Sistema Agrícola Ganadero (SAG) de Chile autoriza la entrada de nuevas colonias a su país, lo que beneficia el proceso de invasión (Aizen et al. 2019).

Tras su llegada a la región patagónica argentina, *B. terrestris* mostró un éxito tal que logró rápidamente volverse más abundante que el único abejorro nativo patagónico, *Bombus dahlbomii*, comúnmente conocido como “mangangá” (Montalva et al. 2011; Morales et al. 2013). Esta especie nativa cumple un rol importante en su

ecosistema, siendo el principal polinizador de varias especies endémicas de los bosques andino patagónicos (Morales y Aizen 2002; 2006; Montalva et al. 2011). Luego de la llegada de *B. terrestris*, y en tan sólo 15 años, *B. dahlbomii* desapareció casi del 80% de las zonas donde habitaba (Montalva 2013; Morales et al. 2013), y hoy en día se encuentra declinando a tal punto que está categorizada como “En peligro” en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Morales et al, 2016). La declinación de esta especie estaría vinculada a la competencia por explotación debido al uso más generalista de los recursos florales por parte de *B. terrestris*, junto con su habilidad para crear colonias más grandes y a la transmisión de sus patógenos, los cuales podrían afectar a *B. dahlbomii* (Montalva et al. 2011; Morales et al. 2013; Arbetman et al. 2013). Además, se ha demostrado recientemente que *B. terrestris* es capaz de alterar interacciones mutualistas entre *B. dahlbomii* con plantas nativas del bosque andino patagónico, como *Vicia nigricans*, convirtiendo una relación mutualista de planta-polinizador (*V. nigricans*-*B. dahlbomii*), en una antagonista entre la planta y *B. terrestris*, que es ladrón de néctar (Chalcoff et al. 2022). El avance de *B. terrestris* sobre toda el área de distribución de *B. dahlbomii* implica que estas presiones competitivas podrían estar afectando a todas las poblaciones de esta especie nativa.

En Argentina existen en total 8 especies nativas de abejorros (**Figura 1**), las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de todo el país (Abrahamovich et al. 2007). Cada una posee un rol importante en el ecosistema en el que habita, al polinizar una gran variedad de especies de plantas tanto nativas como exóticas (Abrahamovich et al. 2005; Abrahamovich et al. 2007). Además de *B. terrestris*, en el país existe otra especie exótica de abejorro, *B. ruderatus*, la cual fue introducida en Chile en el año 1982 para la polinización del trébol rojo (Arretz y Macfarlane 1986), y fue registrada por primera vez en la Patagonia argentina en el año 1993 (Roig-Alsina y Aizen 1996). Esta especie presenta una abundancia y distribución menores que las de *B. terrestris*, a pesar de haber llegado a la Argentina varios años antes.



**Figura 1:** Especies de *Bombus* nativas de Argentina. A: *Bombus dahlbomii*. B: *B. bellicosus*. C: *B. opifex*. D: *B. pauloensis*. E: *B. morio*. F: *B. tucumanus*. G: *B. baeri*. H: *B. brasiliensis*. Créditos: A, C, D, E: Archivo Vi Un Abejorro. B, F, G, H: iNaturalist.

Si bien actualmente *B. terrestris* se encuentra en las provincias patagónicas desde Neuquén y Río Negro hasta Tierra del Fuego, coincidiendo con el área de distribución histórica de *B. dahlbomii* (Morales et al. 2013; Schmid-Hempel et al. 2014), es probable que las otras especies nativas de Argentina también se vean afectadas en caso de que la invasión se extienda hacia nuevas regiones. Aunque existe literatura relacionada con la expansión de *B. terrestris* en Argentina a lo largo del tiempo (Morales et al. 2013; Schmid-Hempel et al. 2014; Geslin y Morales 2015; Fontúrbel et al. 2021), la distribución de la invasión continúa en aumento, así como la declinación de *B. dahlbomii* (Morales et al. 2013; 2022). Sumado a esto, la última revisión sobre la distribución de las demás especies nativas de abejorros del país fue realizada entre los años 2005 y 2007 por Abrahamovich y colaboradores (Abrahamovich et al. 2005; Abrahamovich et al. 2007), por lo que poco se sabe sobre sus abundancias poblacionales y distribuciones actuales. Es por eso que contar con una línea de base actualizada sobre la distribución de las especies nativas de abejorros y de la progresión de la invasión es necesaria para poder predecir los potenciales impactos de la especie invasora sobre los *Bombus* de Argentina. Para esto, aproximaciones como la ciencia ciudadana pueden resultar apropiadas para actualizar esta línea de base a gran escala y en poco tiempo.

## La ciencia ciudadana como herramienta de investigación

Para estudiar una especie de amplia distribución geográfica y en peligro (lo cual implica que hay pocos individuos dispersos en grandes áreas, como puede ser el caso de *B. dahlbomii*), así como un proceso ecológico que ocurre a gran velocidad (como puede ser la invasión de *B. terrestris*) resulta conveniente contar con múltiples observadores simultáneos, distribuidos en distintas regiones o puntos de observación. Para esto, la ciencia ciudadana podría ser la herramienta adecuada. Como definición general, la ciencia ciudadana consiste en la incorporación de miembros del público, es decir, de la comunidad no académica, a algún aspecto de la investigación científica (Eitzel et al. 2017). En los últimos 20 años, este enfoque de investigación participativa (también conocido como monitoreo participativo o ciencia comunitaria) ha involucrado a millones de personas en todo el mundo, que han ayudado al sector científico a recolectar muchísimos datos e información, que serían muy costosos o imposibles de obtener por otros medios (Bonney et al. 2016). Los proyectos de ciencia ciudadana pueden abarcar diversas temáticas, desde la astronomía hasta la zoología, y pueden utilizar una importante variedad de metodologías, haciendo partícipes al público de la adquisición de datos, o incluso, del análisis de los mismos (Eitzel et al. 2017; MacPhail y Colla 2020). Según el grado de participación del público, los proyectos de ciencia ciudadana se pueden clasificar en: “contributivos” (el público participa en la recolección de datos), “colaborativos” (el público participa en la recolección y análisis de los datos) o “co-creativos” (proyectos en los cuales el público participa en todas las etapas del proceso científico) (Bonney et al. 2009).

Muchos proyectos de ciencia ciudadana se favorecen de registros en forma de “ocurrencia observada”, en los cuales se documenta el avistamiento de una especie en un lugar y un momento determinados, utilizando fotografías, audios, ejemplares de herbarios o colecciones, etc, dependiendo del sistema de estudio (Lopes y Zattara 2022). Este tipo de registros puede contribuir a responder o plantear nuevas preguntas científicas; a monitorear en tiempo real los cambios que ocurren en la naturaleza (Danielsen et al. 2005); a conocer la distribución de especies tanto nativas como exóticas (Danielsen et al. 2005; Encarnação et al. 2021); a brindar información valiosa sobre el estado de conservación de especies vulneradas, y registrar el avance de las especies invasoras hacia nuevas regiones (Cooper et al. 2007; Bonney et al. 2016; Encarnação et al. 2021).

Entre otras ventajas de la ciencia ciudadana, en comparación con otras metodologías, se encuentran la velocidad de adquisición de los datos y la variedad de puntos geográficos, siendo posible incluso obtener información proveniente de propiedades privadas, las cuales serían normalmente inaccesibles para los investigadores (Dickinson et al. 2010; Bila Dubaić et al. 2022). El costo relativamente bajo de los programas de ciencia ciudadana también resulta atractivo para diversas organizaciones dedicadas a la conservación, ya que un costo accesible asegura que los proyectos puedan sostenerse en el tiempo, aumentando así el número de registros y, por lo tanto, la información disponible (Danielsen et al. 2005).

Una de las plataformas más conocidas que vincula a la sociedad y a la biodiversidad es iNaturalist ([www.inaturalist.org](http://www.inaturalist.org)). En esta aplicación, cada usuario puede publicar fotos de la biodiversidad encontrada (incluyendo animales, plantas, hongos e incluso bacterias) y sugerir identificaciones de las especies observadas por otros usuarios. Así, se genera una articulación entre científicos, naturalistas e interesados en aprender sobre diversidad. Los datos de la plataforma son abiertos a la comunidad y pueden ser descargados, lo cual permite que sean utilizados en investigaciones científicas. La ventaja de esta herramienta radica en que, además de que los datos son libres, las fotos publicadas están (en la mayoría de los casos) acompañadas de la identificación de las especies. La identificación puede ser llevada a cabo por los usuarios de la plataforma, y el grado de fiabilidad de la identificación reside en la validación del registro por más de un usuario. Sin embargo, para poder realizar registros a través de esta plataforma, es necesario crear un nuevo usuario y, en caso de querer utilizarla en un teléfono, es conveniente descargar una aplicación específica, lo cual puede desalentar la participación de un gran número de participantes. Por otro lado, iNaturalist no posee actualmente una popularidad comparable a la que poseen los gigantes de las redes sociales como Facebook, Instagram o Twitter. Por esa razón, muchos proyectos de ciencia ciudadana están presentes en estas últimas, logrando así que la información fluya a través de canales que ya son utilizados por la mayoría del público, y que permiten la interacción directa de los participantes con los coordinadores o científicos detrás del proyecto (Liberatore et al. 2018).

Existen diversos proyectos de ciencia ciudadana destinados al estudio y monitoreo de polinizadores en particular. Algunos ejemplos son “Bumble Bee Watch” (<https://www.bumblebeewatch.org/>) en Norteamérica, “Bees ‘n Beans”

(<http://www.ljbees.org.uk/>) en el Reino Unido, “Shutterbee” (<https://shutterbee.net/about/>) en Estados Unidos, “Salvemos Nuestro Abejorro” (<https://salvemosnuestroabejorro.wordpress.com/>) en Chile, y varios otros proyectos presentados en el libro “Ciencia ciudadana y Polinizadores de América del Sur” (Lopes y Zattara 2022). Los proyectos de ciencia ciudadana son útiles para completar lagunas de conocimiento, lo cual resulta imprescindible en especies y grupos que se encuentran en declinación (Bonney et al. 2009). Un gran número de estudios vinculados a la declinación global de la biodiversidad de abejas se han popularizado en la sociedad gracias a su fuerte presencia en los medios de comunicación y la prensa, lo que ha fomentado que el público se vea motivado a participar de iniciativas relacionadas a la idea de “salvar a las abejas”, lo cual incluye a muchos proyectos de ciencia ciudadana (Domroese y Johnson 2017; Macphail 2021).

La ciencia ciudadana puede resultar útil en la detección temprana de invasiones, debido a que los ciudadanos participantes son capaces de detectar “eventos raros” (Pocock et al. 2017). Por ejemplo, un registro de una especie invasora en un sitio donde no se había encontrado hasta el momento, podría darle tiempo al sector científico para delinear pautas de manejo, para estudiar las dinámicas de la invasión desde un estadio temprano y para medir la respuesta de las poblaciones de las especies nativas en tiempo real (Pocock et al. 2017; Encarnação et al. 2021; Bila Dubaić et al. 2022). En la región patagónica, en particular, la ciencia ciudadana pareciera ser la herramienta ideal para realizar un seguimiento “en vivo” de la expansión de la invasión de *B. terrestris* en tiempo real hacia nuevas regiones del país, y de su relación con la abundancia y distribución del abejorro nativo patagónico, *B. dahlbomii*.

## Dificultades de la ciencia ciudadana

Si bien los datos provistos por el público pueden resultar de gran valor para el desarrollo científico, todavía existe cierto escepticismo con respecto a su calidad y precisión (Bradshaw 2003; Riesch y Potter 2014). En algunas ocasiones, la información recolectada por este tipo de proyectos de participación ciudadana no es tomada en serio por distintos grupos de científicos y tomadores de decisiones, debido a que se cuestionan su credibilidad y calidad, los procedimientos utilizados en la toma de datos, el número de muestras y el hecho de que muchas veces, la información se

reporta de forma incompleta (Bradshaw 2003; Gouveia et al. 2004). En un principio, esta falta de credibilidad provenía del hecho de que, en los primeros proyectos de ciencia ciudadana planteados, los científicos esperaban que los voluntarios reunieran datos complejos y detallados, para lo cuales no estaban preparados (Cohn 2008). Varios autores han decidido poner a prueba la credibilidad de la información reunida por voluntarios del público, comparando los datos que se obtienen mediante campañas de ciencia ciudadana con datos obtenidos por investigadores profesionales (Danielsen et al. 2005; Cohn 2008). En ocasiones, se vio que los datos obtenidos por voluntarios muestran mayor varianza que los datos obtenidos por profesionales, tienden a la sobre o subestimación de las abundancias reales de los organismos, y experimentan dificultades a la hora de identificar taxones difíciles o de distinguir a dos especies distintas de aspecto similar (Brandon et al. 2003; Danielsen et al. 2005; Genet y Sargent 2006). Sin embargo, debido a que en los proyectos de ciencia ciudadana suelen participar representantes profesionales de distintas áreas (biología, ciencias sociales, ciencias ambientales, geología, etc), se suele producir cierta variabilidad de puntos de vista ante un mismo fenómeno, que aporta a la credibilidad y validez de los datos (Conrad y Hilchey 2011). Diversos trabajos han concluido que los participantes voluntarios son capaces de obtener datos de buena calidad, sobre todo cuando los mismos poseen experiencia o entrenamientos previos, y cuando la actividad que deben realizar es sencilla (Kosmala et al. 2016).

Con el tiempo, los científicos detrás de los proyectos de ciencia ciudadana han ido desarrollando estrategias para aumentar la calidad de los datos obtenidos por el público. En un trabajo realizado por Riesch & Potter (Riesch y Potter 2014) se las resume bien: la estrategia más común es la de realizar jornadas de entrenamiento para los voluntarios, donde los responsables del proyecto les enseñan a identificar las especies de interés. También, como se expresó previamente, se corroboran los datos obtenidos por el público con datos obtenidos por profesionales y con bibliografía. Por último, se suele evaluar a los participantes a través de encuestas y cuestionarios, para confirmar que sus metodologías son las mismas que las que se brindaron durante el entrenamiento. Darle importancia a estas estrategias podría lograr que los beneficios de la ciencia ciudadana sean mayores que las dificultades, logrando que el público sea un eslabón clave para el estudio de diferentes aspectos biológicos, como puede ser la recolección de información sobre ocurrencias de especies en peligro, o de la aparición de especies invasoras en nuevas regiones.

## Control poblacional de especies invasoras: aproximación experimental

La retracción de las abundancias del abejorro nativo *B. dahlbomii* ante la invasión de *B. terrestris* (Morales et al. 2013), sugiere efectos competitivos de *B. terrestris* sobre *B. dahlbomii*, ya sea por recursos florales o sitios de nidificación, o por la transmisión de parásitos patógenos. Cuando se desea estudiar la competencia por recursos o por el espacio entre dos especies en un mismo hábitat, las aproximaciones experimentales suelen ser las ideales. Esto se debe a que brindan información más precisa que los estudios observacionales, en particular cuando se analizan especies cuyas densidades son difíciles de estimar y manipular, y en las cuales no es fácil determinar los cambios en la aptitud mediante la observación (Thomson 2006).

Una vez reconocido el impacto de una especie invasora sobre un ecosistema, un paso necesario es ensayar estrategias de control que busquen mitigar dicho impacto. Estas estrategias abarcan desde intervenciones locales con el objetivo de remover o reducir la abundancia de la especie invasora para disminuir la presión competitiva sobre las especies nativas, hasta experimentos masivos y costosos con el objetivo de la erradicación (Pyšek y Richardson 2010). En Japón, donde *B. terrestris* también es considerada invasora (Inoue et al. 2008) se han realizado esfuerzos por disminuir la abundancia de esta especie en la naturaleza, incluyendo a la participación ciudadana, donde los voluntarios fueron invitados a remover todos los ejemplares de *B. terrestris* encontrados durante una jornada (Kojima 2006). Por otro lado, un experimento de remoción realizado por Nagamitsu y colaboradores (2010), también en Japón, mostró que la remoción de obreras y reinas de dicha especie a lo largo de la temporada provocó una disminución en la abundancia de reinas fundadoras de colonias en la temporada siguiente. A raíz de esto, se observó un aumento en la abundancia de reinas de las especies nativas, lo cual sugiere que dicha remoción podría haber liberado a las especies nativas de una potencial presión competitiva de esta especie invasora (Nagamitsu et al. 2010). En la región patagónica, si bien se han estudiado algunos de los impactos que *B. terrestris* ejerce sobre *B. dahlbomii* y la flora nativa, no se han realizado experimentos de remoción del abejorro europeo, por lo cual se desconoce si esta es una herramienta útil para su control poblacional.

# Objetivos, hipótesis y predicciones

**Objetivo general:** Evaluar el potencial de la ciencia ciudadana y de una herramienta de intervención a campo para el monitoreo y manejo de una invasión biológica.

**Objetivos específicos:**

1- Desarrollar un proyecto de ciencia ciudadana de extensión nacional y evaluar su contribución al conocimiento de la distribución de las especies de *Bombus* de Argentina.

2- Comparar las distribuciones y abundancias relativas de *Bombus terrestris* y *Bombus dahlbomii* obtenidas mediante la ciencia ciudadana y estudios previos a campo.

3- Evaluar el efecto de la remoción manual de reinas fundadoras de colonias de *Bombus terrestris* y de la abundancia del recurso floral sobre la abundancia de dicha especie exótica.

**Hipótesis:**

**H1:** El proyecto de ciencia ciudadana, al tener un alcance nacional, permite registrar las ocurrencias y actualizar la información de la distribución conocida de todas las especies de *Bombus* del país.

**H2:** La ciencia ciudadana, al contar con gran cantidad de observadores simultáneos en rangos geográficos extensos, aporta nueva información sobre la presencia y abundancia relativa de las especies nativas e invasoras respecto a la obtenida por campañas científicas tradicionales.

**H3.1:** La remoción de reinas fundadoras de colonias del abejorro invasor *B. terrestris*, al reducir la formación de nuevos nidos, impacta en la abundancia local de la especie, lo cual contribuye a su control poblacional.

**H3.2:** La abundancia de recursos florales, al proveer el alimento (polen y néctar) necesario para el inicio y desarrollo de las colonias, tiene influencia sobre la abundancia de obreras y reinas de *B. terrestris*.

**Predicciones:**

**P1:** Los datos obtenidos por el proyecto de ciencia ciudadana, al brindar información sobre las diez especies de abejorros del país, permitirán actualizar la información sobre la distribución de las especies publicada en estudios previos.

**P2:** Al comparar los datos obtenidos a través del proyecto de ciencia ciudadana con los obtenidos mediante métodos tradicionales de muestreo a campo, se obtendrá información sobre la presencia de las especies en áreas donde no habían sido registradas previamente, lo cual permitirá extender el conocimiento sobre el área de distribución de las especies. A su vez, al contar con gran cantidad de observadores, las abundancias relativas de las especies obtenidas por el proyecto de ciencia ciudadana serán similares a las obtenidas por los muestreos a campo.

**P3.1:** La cantidad de obreras de la especie *B. terrestris* registradas a lo largo de la temporada será menor en los sitios donde se removieron reinas que en los sitios donde no ocurrió la remoción al principio de la temporada.

**P3.2:** La abundancia de obreras y reinas de *B. terrestris* será mayor en aquellas transectas que cuenten con una mayor abundancia de recursos florales.

## Materiales y Métodos

### Primera parte: Proyecto de Ciencia Ciudadana

La propuesta de crear un proyecto de ciencia ciudadana surgió a causa de los frecuentes registros recibidos por el grupo de investigación de Ecología de la Polinización (INIBIOMA-CONICET), en los cuales miembros del público general comunicaban haber observado un abejorro nativo patagónico (*Bombus dahlbomii*), cuyo estado de conservación (en peligro) es socialmente conocido en la región donde es nativo. Dichos registros fueron considerados de gran valor, debido a que ayudaban a mantener una noción de dónde y cuándo se podía encontrar a esta especie, la cual es cada vez más difícil de observar en el campo. Sin embargo, lo anecdótico de dichas comunicaciones dificultaba utilizar esta información para estudiar patrones de distribución en el espacio y en el tiempo.

Para formalizar y sistematizar entonces estos registros y aumentarlos aún más, desarrollé un proyecto abierto a la participación del público que permitiera esencialmente, conocer a las especies de abejorros de Argentina y su distribución. Para esto, la propuesta consistió en que cada vez que una persona observara un abejorro del género *Bombus*, diera aviso al proyecto. Idealmente, los reportes debían incluir la fecha, el lugar donde ocurrió el avistamiento, y una foto del ejemplar

observado para una correcta identificación de la especie. Con esta información, los datos obtenidos pueden brindar información variada, como qué especies se ven con más frecuencia, en qué época del año, en qué lugares y qué flores visitan, entre otras cosas. Estas observaciones, además, abrirán las puertas a nuevas preguntas científicas.

Durante el desarrollo del proyecto, puse al alcance del público información técnica y acertada expresada en un lenguaje sencillo y comprensible con la cual busqué transmitir (a) el valor que poseen las especies nativas de abejorros y la importancia de su conservación, (b) el impacto de las invasiones biológicas y (c) el conocimiento para lograr que los participantes pudieran identificar a las distintas especies de abejorros cuando las encuentran, determinando si se trata de especies nativas o exóticas.

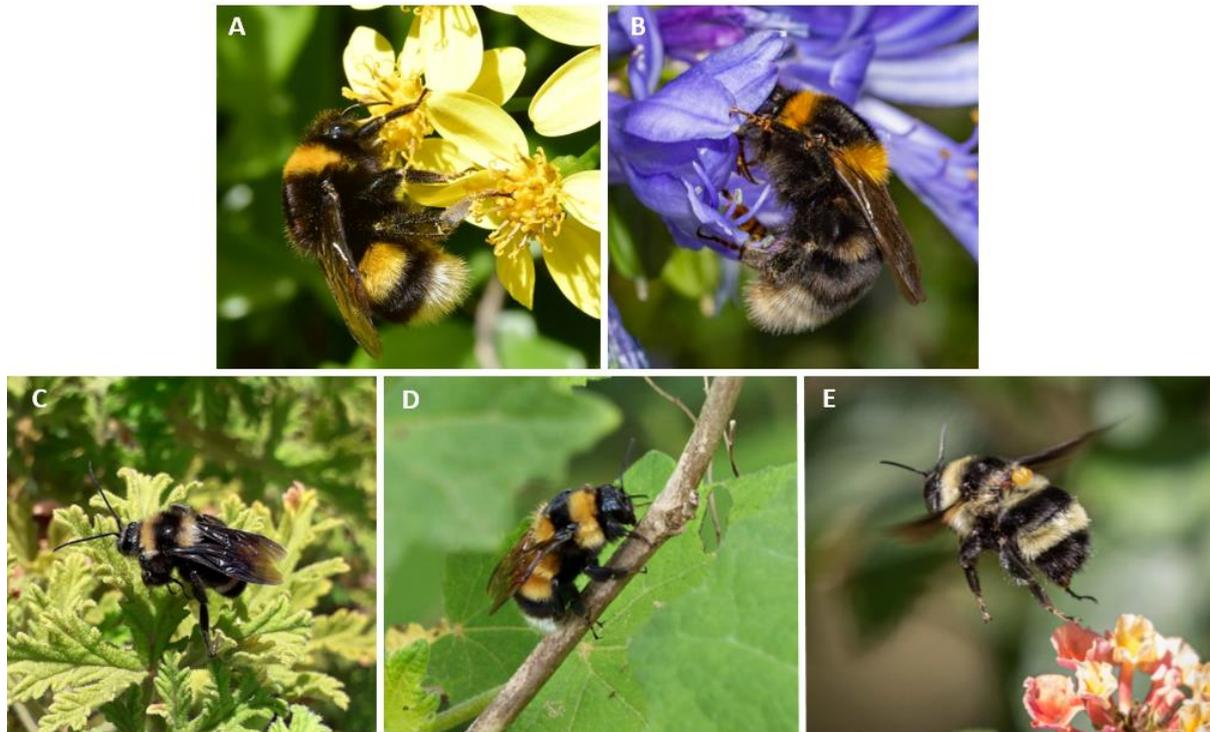
Inicialmente, el proyecto de ciencia ciudadana había sido pensado para desarrollarse únicamente en la región patagónica, con el objetivo de llevar un registro ordenado de las ocurrencias de la especie *B. dahlbomii*, y para monitorear el avance de las especies exóticas presentes en dicha región, que son *B. terrestris* y *B. ruderatus*. Sin embargo, ante la posibilidad de que estas dos especies exóticas expandan su distribución hacia nuevas regiones del país afectando así a otras especies nativas, y teniendo en cuenta que los últimos estudios de revisión de la distribución del resto de las especies datan de más de 15 años, decidí extender el proyecto a toda la Argentina, y llevar adelante un monitoreo de las 10 especies presentes en el país, siendo las 8 nativas: *B. baeri* (Vachal 1904), *B. bellicosus* (Smith 1879), *B. brasiliensis* (Lepelletier 1836), *B. dahlbomii* (Guérin-Méneville 1835), *B. morio* (Swederus 1787), *B. opifex* (Smith 1879), *B. pauloensis* (previamente "*B. atratus*") (Friese 1913) y *B. tucumanus* (Vachal 1904); y las 2 exóticas *B. ruderatus* (Fabricius 1775) y *B. terrestris* (Linnaeus 1758).

Nombré al proyecto "Vi Un Abejorro", porque resume bien el objetivo y resulta sencillo de recordar. Una vez seleccionado el nombre, creé una página web oficial ([www.abejorros.ar](http://www.abejorros.ar)), donde publiqué información sobre las 10 especies que pueden encontrarse en Argentina, cómo identificarlas y en qué región se encuentran. También incluí información general sobre qué es la polinización, cómo es el ciclo de vida de los abejorros, por qué los estudiamos, con qué otros grupos de abejas se los puede confundir, entre otras cosas, expresado en un lenguaje cotidiano, con el objetivo de incentivar la curiosidad y el entusiasmo. Por otro lado, creé cuentas del proyecto en

distintas plataformas de redes sociales ([www.twitter.com/ViUnAbejorro](http://www.twitter.com/ViUnAbejorro), [www.instagram.com/ViUnAbejorro](http://www.instagram.com/ViUnAbejorro) y [www.facebook.com/ViUnAbejorro](http://www.facebook.com/ViUnAbejorro)), para que el mismo pueda llegar a personas de distintas regiones y grupos etarios, y habilité un número de teléfono específico del proyecto, para permitir la comunicación a través de WhatsApp. Los participantes, entonces, tuvieron la posibilidad de elegir cualquiera de estos medios para registrar sus avistamientos. Cada dos semanas aproximadamente, actualicé las redes sociales con nueva información para sostener el interés de los seguidores y publicité las publicaciones realizadas en Instagram, Facebook y Twitter para alcanzar a un mayor número de personas de distintas provincias. Además, como parte de la promoción del proyecto, se realizaron charlas tanto presenciales como virtuales en los Parques Nacionales Nahuel Huapi y Lago Puelo, y se realizaron entrevistas radiales y periodísticas en medios locales y nacionales ([www.abejorros.ar/prensa](http://www.abejorros.ar/prensa)).

Registré cada observación reportada por los participantes a través de las distintas redes sociales en una base de datos, en la cual especifiqué, para cada una, la fecha del avistamiento, la especie, las coordenadas geográficas y, en caso de existir, la foto del ejemplar visto. Observando las coordenadas, le asigné a cada avistamiento una zona: establecí como “zona urbana” a los que provenían de ciudades o pueblos, y “zona rural” a aquellos cuyas coordenadas provenían de campos, senderos de montaña o parques nacionales.

Si bien en las publicaciones realizadas en las redes sociales destacué la importancia del envío de imágenes de los ejemplares vistos, esto no fue obligatorio para que los participantes pudieran realizar un registro de avistamiento, ya que en un principio, esperaba que las especies pudieran ser correctamente identificadas gracias a las fotos y diagramas publicados. Sin embargo, debido a que en Argentina existen distintas especies de *Bombus* que son morfológicamente similares, incluídas las especies exóticas (**Figura 2**), separé los registros totales en dos grandes grupos: llamé “registros validados” a los que contaban con una foto clara de la especie observada, y “sin validar” a los que no. Los registros validados son aquellos que cuentan con una buena calidad de imagen donde puede observarse con claridad el patrón de coloración del ejemplar visto, lo cual permite confirmar la identidad de la especie. Por esa razón, sólo utilicé estos registros validados para estudiar la distribución y ocurrencias de las especies.



**Figura 2:** Especies de *Bombus* presentes en Argentina que presentan un patrón de coloración muy similar. A: *B. terrestris*, B: *B. ruderatus*, C: *B. pauloensis*, D: *B. tucumanus*, E: *B. brasiliensis*. Fotos: archivo Vi Un Abejorro (A, B), iNaturalist (C, D, E).

Para poder comparar los datos obtenidos por este proyecto de ciencia ciudadana con los datos obtenidos por investigadores en muestreos a campo tradicionales, utilicé una base de datos desarrollada por el Grupo de Ecología de la Polinización (INIBIOMA-CONICET) de muestreos realizados a lo largo de la región patagónica durante la temporada 2021-2022 en el marco del proyecto internacional SURPASS ([www.bee-surpass.org](http://www.bee-surpass.org)). En estos muestreos, cuatro investigadores viajaron a lo largo de la distribución histórica de *B. dahlbomii*, desde Chile central hasta Tierra del Fuego, y visitaron el potencial frente de invasión de *B. terrestris*, en el límite entre la región patagónica y pampeana de Argentina, y la frontera entre las provincias de Mendoza y Neuquén. Transitaban las carreteras principales haciendo paradas de 1 a 3 veces por día, y registraron, en cada parada, la abundancia (número de individuos) de cada especie de abejorro y cuantificaron los recursos florales durante una caminata por un sendero, siguiendo un protocolo consensuado y estandarizado. Esto dio como resultado una base de datos con ocurrencias de las tres especies de abejorros que se encuentran en la Patagonia (*B. dahlbomii*, *B. terrestris* y *B. ruderatus*), con sus respectivas coordenadas geográficas y la fecha del

avistamiento, la misma información que los participantes brindan en los registros del proyecto de ciencia ciudadana. Para poder hacer las comparaciones entre ambas metodologías consideré, del proyecto Vi Un Abejorro, sólo los registros validados, es decir, los que cuentan con imágenes de los abejorros vistos, y filtré los datos recibidos sólo de las provincias patagónicas, ya que los datos de los muestreos a campo con los que se cuenta pertenecen a esa región. Para este objetivo, trabajé sólo con las ocurrencias de *B. dahlbomii* y *B. terrestris*, debido a que esta última es la exótica más abundante, y cuya distribución solapa más ampliamente con la de la especie nativa.

### Creación de mapas y análisis estadísticos

Para visualizar el alcance del proyecto Vi Un Abejorro y su contribución al conocimiento de la distribución de las distintas especies de *Bombus* en Argentina, realicé mapas con el programa estadístico R Core Team (2022), versión 4.1.3, con los paquetes *raster* (Hijmans et al. 2023), *sf* (Pebesma et al. 2022) y *ggplot2* (Wickham 2016), donde cada punto representa la ocurrencia de una especie reportada por los participantes. Para observar el alcance del proyecto realicé distintos mapas. En uno, consideré la totalidad de registros recibidos (incluidos los reportes de *Bombus*, *Xylocopa*, entre otros), y en otros dos, consideré sólo los registros de *Bombus*, que son los de interés en este trabajo. En estos últimos mapas, comparé la totalidad de registros de *Bombus* obtenidos con el total de registros validados, para poder determinar así de qué provincias y especies se recibió la información completa.

Para observar la distribución de cada especie obtenida por el proyecto, utilicé sólo los registros validados recibidos de cada una, ya que los registros sin validar sólo dan una idea del alcance del proyecto, pero no brindan información verificable sobre la presencia de las especies o su identidad. Para poder determinar el aporte del proyecto Vi Un Abejorro al conocimiento de la distribución de las distintas especies, comparé las ocurrencias obtenidas por el proyecto con las distribuciones presentadas en publicaciones anteriores.

Por otro lado, para comparar las ocurrencias y el alcance geográfico de las dos metodologías (ciencia ciudadana y muestreos a campo tradicionales), realicé otros dos mapas, pero esta vez, sólo de la región patagónica. En uno, incluí los datos recibidos por Vi Un Abejorro y en el otro, los recolectados por los investigadores durante los viajes de muestreo. En cada mapa marqué arbitrariamente celdas cuadradas de 80 km de lado y, en cada caso, utilizando la función *geom\_sf* del

paquete *ggplot2*, se identificaron aquellas celdas que contenían al menos un registro. Dentro de cada celda, se marcó un punto de color cuyo tamaño indica el número de registros provenientes de esa zona delimitada. De esta forma, se puede identificar visualmente la cantidad y la ubicación de los reportes realizados por la ciencia ciudadana por un lado, y por los muestreos a campo por el otro. El tamaño seleccionado para las celdas permite que sea sencillo observar visualmente la diferencia en el alcance geográfico de ambas metodologías.

Realicé, además, un test de Chi cuadrado a partir del número de ocurrencias de cada especie observado por cada metodología para analizar si existe una asociación entre el número de abejorros de cada especie reportados y la metodología aplicada. Por último, para calcular y comparar las abundancias relativas de *B. terrestris* y *B. dahlbomii* obtenidas por cada metodología, dividí el número de *B. terrestris* por el de *B. dahlbomii* registrados en cada caso.

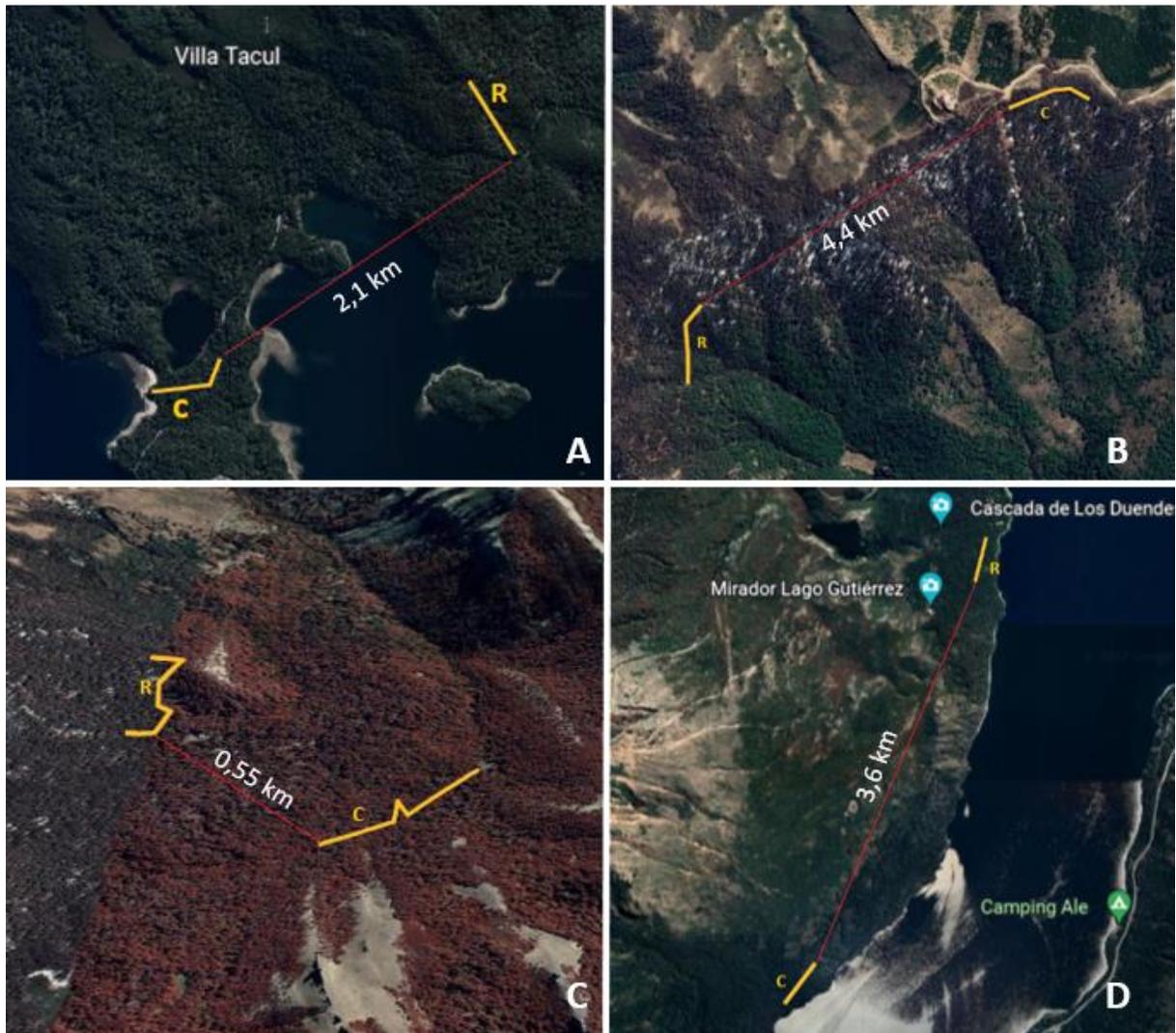
## Segunda parte: Remoción de reinas de *Bombus terrestris*

### Área de estudio

La remoción de reinas fundadoras de colonias de la especie invasora *B. terrestris* se realizó en cuatro sitios localizados en los alrededores de la ciudad de San Carlos de Bariloche, y en el Parque Nacional Nahuel Huapi lindante con la misma, en Río Negro, Argentina. Para seleccionar los sitios donde se llevó a cabo el experimento, tuve en cuenta los datos obtenidos con el proyecto de ciencia ciudadana: prioricé zonas donde tanto *B. dahlbomii* como *B. terrestris* estuvieran presentes, según registros de ocurrencia recientes o históricos. Los sitios seleccionados, entonces, fueron: el Parque Municipal Llao Llao, Lago Gutiérrez, valle del Challhuaco y Cerro Otto. En un principio, Puerto Blest y la zona del arroyo Casa de Piedra también habían sido seleccionados, pero fueron descartados por las dificultades logísticas que implica el traslado hasta Puerto Blest, y debido a que, al momento de iniciar con los muestreos, se estaban realizando prácticas de tiro en la zona de Casa de Piedra, por lo que de seis sitios originalmente preseleccionados, quedaron cuatro efectivos. Para la elección de los sitios, tuve en cuenta que cuenten con senderos de fácil transitabilidad, con una oferta floral significativa ya sea nativa o exótica, y que idealmente representen tipos de vegetación característicos donde

solían prosperar poblaciones de *B. dahlbomii* antes de la invasión de *B. terrestris* (Morales y Aizen, 2002).

Para evaluar el efecto de la remoción, apliqué un diseño de sitios pareados, donde en cada uno de los sitios delimité dos transectas diferentes: una donde se realizó la remoción de reinas, y otra que funcionó como control sin remoción. Cada transecta consistió en un sendero de bosque de 500 metros de longitud, y aproximadamente 3 metros de ancho, rodeado de vegetación. Ambas transectas de cada sitio se ubicaron a una distancia entre sí de un mínimo de 2 kilómetros en línea recta, a excepción de las zonas delimitadas en el valle del Challhuaco donde, por condiciones de accesibilidad, ambas transectas seleccionadas se encuentran separadas por 500 metros (**Figura 3**). La elección de la distancia entre las transectas se hizo en base a estudios previos del vuelo de reinas de *B. terrestris*: se sabe que éstas, al salir de la hibernación, realizan vuelos cortos (en tiempo y distancia) y zigzagueantes durante varios días, en búsqueda de un nuevo sitio donde fundar el nido, y estos movimientos pueden llegar a desplazar a la reina hasta 3 km desde el sitio de su hibernación aproximadamente (Makinson et al. 2019). Las obreras, en cambio, tienen distancias de vuelo menores, llegando a volar un máximo de 2.5 km desde el nido (Hagen, Wikelski, y Kissling 2011). Además, tuve en cuenta que a una distancia mayor a 2 km entre transectas, en varios sectores de la ciudad de Bariloche la vegetación y el ecosistema circundante pueden cambiar considerablemente, lo cual podría confundir el efecto de la remoción con el efecto del tipo de hábitat y agregar variabilidad a los resultados del experimento.



**Figura 3.** Sitios donde se realizó el tratamiento de remoción de reinas de *B. terrestris*. En amarillo, se muestran las transectas experimentales, detallándose con 'R' donde ocurrió la remoción, y con 'C' las transectas control. En rojo, se puede ver la distancia entre ellas. A) Parque municipal Llao Llao. B) Cerro Otto. C) Valle del Challhuaco. D) Lago Gutiérrez.

### Primera etapa: Remoción de reinas fundadoras de nidos

Las salidas de campo destinadas al experimento de remoción de reinas se iniciaron el 28 de septiembre de 2021, fecha alrededor de la cual, a causa de un aumento en las temperaturas, suele finalizar cada año el periodo de hibernación de los abejorros y se observan las primeras reinas de *B. terrestris*. En esta época, las reinas comienzan a emerger de sus refugios invernales para buscar sitios donde establecer sus nuevos nidos, que perdurarán durante toda la temporada de primavera y verano.

En cada sitio asigné al azar uno de los dos tratamientos (remoción o control) a cada una de las dos transectas. En el tratamiento llamado "remoción", removí todas

las reinas de *B. terrestris* posibles observadas en la transecta utilizando redes entomológicas. En el tratamiento “control”, atrapé a todas las reinas posibles con las redes entomológicas, y las ubiqué en heladeras a bajas temperaturas. Una vez logrado el coma frío (es decir, la disminución de la actividad locomotora debida a las bajas temperaturas), marqué a cada una de las reinas con esmalte de uñas (**Figura 4**) y, posteriormente, cuando las mismas recuperaban su movilidad normal, las liberé. Una vez liberadas, observé el comportamiento inmediato de las reinas marcadas para descartar un efecto negativo del esmalte. El marcado permitiría identificar a las reinas en caso de ser reencontradas y evaluar si existe un movimiento de las mismas desde una transecta hacia la otra.



**Figura 4:** A la derecha, reinas de *B. terrestris* removidas de la naturaleza. A la izquierda, reina de *B. terrestris* marcada con esmalte. Estas reinas, una vez pintadas, eran liberadas.

En cada sitio, recorrí ambas transectas (de remoción y de control) en una misma salida de campo, y transité cada transecta de punta a punta durante un rango de tiempo entre 1 y 2 hs cada una, respetando el mismo tiempo de visita en las dos transectas del sitio. Por otro lado, durante el recorrido de cada transecta registré la abundancia floral realizando una lista de todas las especies en flor observadas y asignándole a cada una un índice de abundancia de flores del 1 al 4, siguiendo la referencia que se puede observar en la **Tabla 1**.

Índice de abundancia	Número aproximado de flores por transecta (número mínimo de individuos, en el caso de leñosas)
1	1-10
2	10-100
3	100-1000
4	>1000

**Tabla 1.** Distintos valores que puede tomar el índice de abundancia, dado por el número de flores aproximado encontrado en cada transecta.

Dado que en ninguno de los sitios fue posible atrapar todas las reinas encontradas, las que quedaron libres pudieron establecer sus nidos, formar nuevas colonias, y aportar considerablemente al número de obreras encontrado posteriormente. A estas reinas que observé pero no atrapé en el tratamiento de remoción, las llamé “reinas remanentes”. En el tratamiento control, consideré como remanentes tanto a las reinas que observé pero no pude atrapar, como aquellas que atrapé, marqué y luego liberé en el lugar.

La captura y remoción de reinas se llevó a cabo entre los meses de septiembre y diciembre de 2021, y cada sitio fue visitado al menos una vez por semana por 2 o 4 personas. Durante el mes de diciembre, encontrar reinas en la naturaleza comienza a ser poco frecuente debido al establecimiento de los nidos: una vez que una reina funda un nuevo nido, se mantiene la mayor parte del tiempo dentro de él. Por lo cual, luego de este periodo, comenzó a ser más frecuente encontrar obreras, tanto en los sitios de control como de remoción, por lo que a fines de diciembre de 2021, se dio por concluida la etapa de remoción y el marcado de reinas.

#### Segunda etapa: Evaluación del efecto del tratamiento en la abundancia de obreras.

La segunda etapa del experimento comenzó en enero 2022, momento del año en el cual las reinas ya están establecidas en sus nidos, y resulta difícil encontrarlas fuera de él. Luego de finalizar la etapa de aplicación de los tratamientos de remoción y marcado, comencé a evaluar el efecto de los mismos sobre la variable respuesta de interés, que en este caso fue la cantidad de obreras encontradas tanto en las transectas de remoción como en las de control.

En esta segunda parte, mantuve la frecuencia de visitas a los distintos sitios y transectas establecida en la etapa anterior: 2 o 4 personas visitando al menos una vez por semana cada sitio. Recorrí las dos transectas de cada sitio en una misma salida de campo, durante un rango de tiempo entre 1 y 2 horas (visitando las dos transectas durante la misma cantidad de tiempo cada día), registrando en cada caso el número total de obreras de *B. terrestris* encontradas, junto con los índices de abundancia floral definidos previamente.

Esta etapa finalizó a principios de marzo de 2022, momento del año en el cual las reinas de la nueva generación, luego de la cópula, buscan sitios donde atravesar la hibernación, y la cantidad de obreras disminuye notablemente.

### Análisis estadísticos

Para analizar el efecto de los tratamientos sobre las reinas y obreras de *B. terrestris*, planteé una serie de modelos mixtos generalizados, que contemplan la estructura jerárquica de los datos y la distribución de la variable respuesta (conteo). Como las variables están conformadas por números enteros que no son negativos y que poseen una varianza mayor a la media, consideré adecuado usar una distribución binomial negativa. En total, planteé cuatro modelos diferentes. Los primeros dos están vinculados a la primera etapa, es decir, al periodo en el cual se llevó a cabo la remoción de reinas, y los otros dos a la segunda etapa, en la cual se concluyó la remoción y marcado de reinas, y se comenzó con el conteo de obreras. Los dos primeros modelos buscan conocer el efecto del tratamiento y de la abundancia de flores sobre la abundancia temprana de reinas totales (es decir, la suma de todas las reinas vistas en cada transecta, incluídas las atrapadas y las no atrapadas, en todas las fechas en que dicha transecta fue muestreada) y de reinas remanentes (es decir, reinas que quedaron en la naturaleza luego de aplicar los tratamientos), mientras que los dos segundos buscan conocer dichos efectos en la abundancia de obreras en general, y teniendo en cuenta las reinas remanentes que quedaron en los sitios luego de los tratamientos.

El primer modelo busca explicar en qué medida la abundancia de reinas totales encontradas en la primera etapa (variable respuesta) está explicada por: el tratamiento (factor fijo, con dos niveles: remoción y control), la abundancia de flores (factor fijo), y el sitio (factor aleatorio, con 4 niveles: Challhuaco, Cerro Otto, Gutiérrez y Llao Llao). La abundancia floral se estimó como la sumatoria de los índices de

abundancia determinados para todas las especies presentes en cada transecta cada día. Este mismo modelo evalúa si existen diferencias de la abundancia de reinas entre tratamientos. Se esperaba, inicialmente, que una vez contemplado el efecto de sitio, las transectas de remoción y control tengan una abundancia de reinas similar y comparable, para poder evaluar adecuadamente el efecto del tratamiento. Para ilustrar esta diferencia, grafiqué las medias ajustadas por el modelo (que toma en cuenta el efecto de la abundancia de flores como factor fijo y al sitio como componente aleatorio) del número total de reinas encontradas en cada uno de los tratamientos.

El segundo modelo planteado busca explicar el efecto del tratamiento y la abundancia de flores (factores fijos), y el efecto de sitio (factor aleatorio) en el número de reinas remanentes (variable respuesta) durante la primera etapa del experimento, para analizar cuántas reinas van quedando libres en la naturaleza a medida que se va llevando a cabo la remoción. Se esperaba que, en promedio, el número de reinas remanentes sea menor en las transectas de remoción que en las transectas control, debido a que en estas últimas, todas las reinas encontradas son liberadas.

El tercer modelo, vinculado a la segunda etapa, evalúa en qué medida la abundancia de obreras (nueva variable respuesta) está determinada por el tratamiento (factor fijo), la abundancia de flores (factor fijo) y el sitio (factor aleatorio). Finalmente, planteé un último modelo con el que busco evaluar cómo la abundancia de obreras de la segunda etapa se ve influenciada por las reinas que quedaron remanentes de la primera etapa (factor aleatorio).

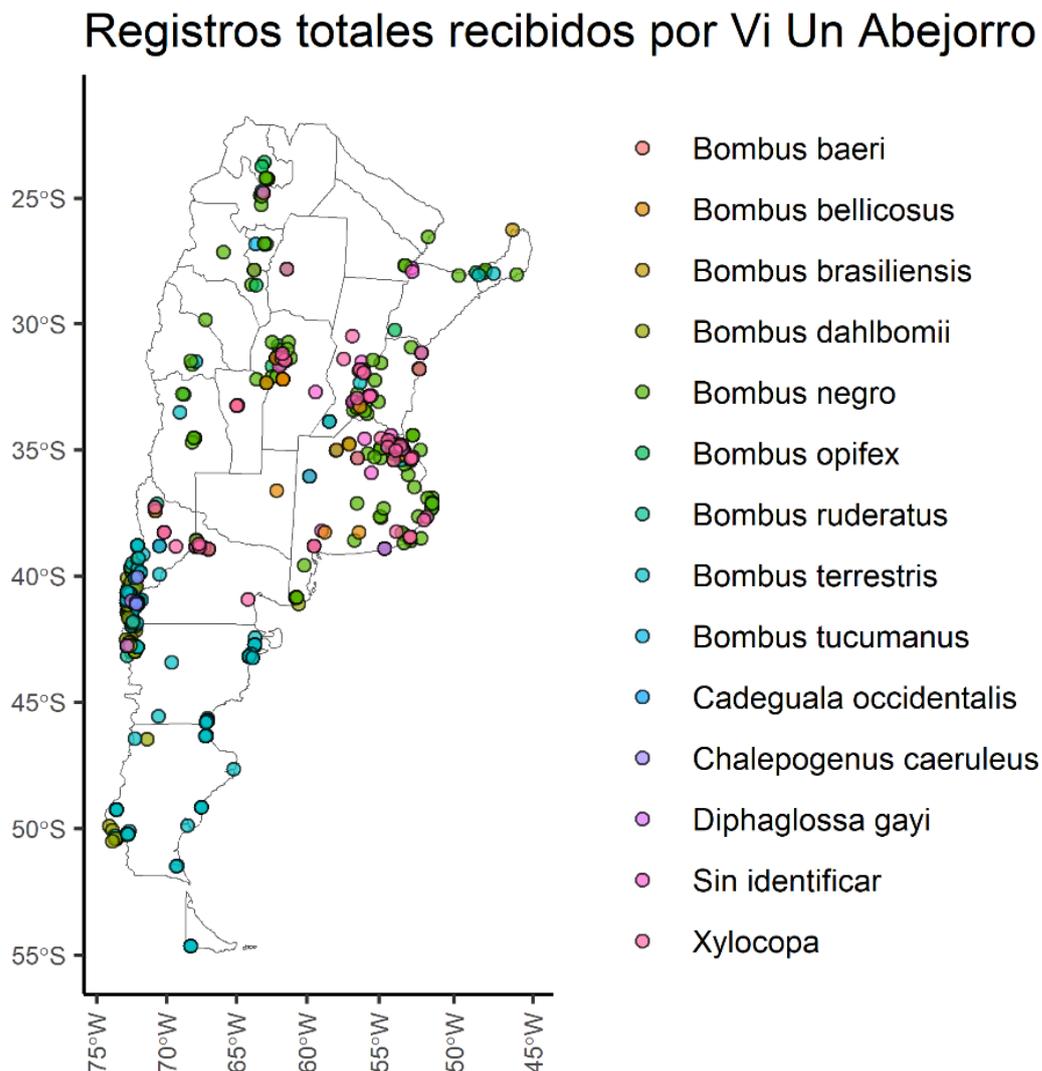
Realicé el planteo de los modelos y su posterior análisis con el programa estadístico R Core Team (2022), versión 4.1.3. Específicamente, utilicé los paquetes *lme4* (Bates et al. 2015) para el ajuste de los modelos mixtos y *lsmeans* (Lenth 2016) para calcular las medias ajustadas de las distintas variables.

## Resultados

### Proyecto “Vi Un Abejorro”

Transcurrido un año desde la creación de “Vi Un Abejorro” (de mayo de 2021 a mayo de 2022), este proyecto logró reunir un total de 1041 registros provenientes

de las 23 provincias argentinas (**Figura 5**), y todas las especies de *Bombus* fueron registradas al menos una vez. Se pudo establecer que 865 registros fueron realizados en zonas urbanas, es decir, ciudades y pueblos, y 124 en zonas rurales, las cuales incluyen campos, refugios de montaña, senderos y parques nacionales. Tres reportes fueron emitidos desde Chile, por lo cual no fueron tenidos en cuenta para los análisis de este trabajo.



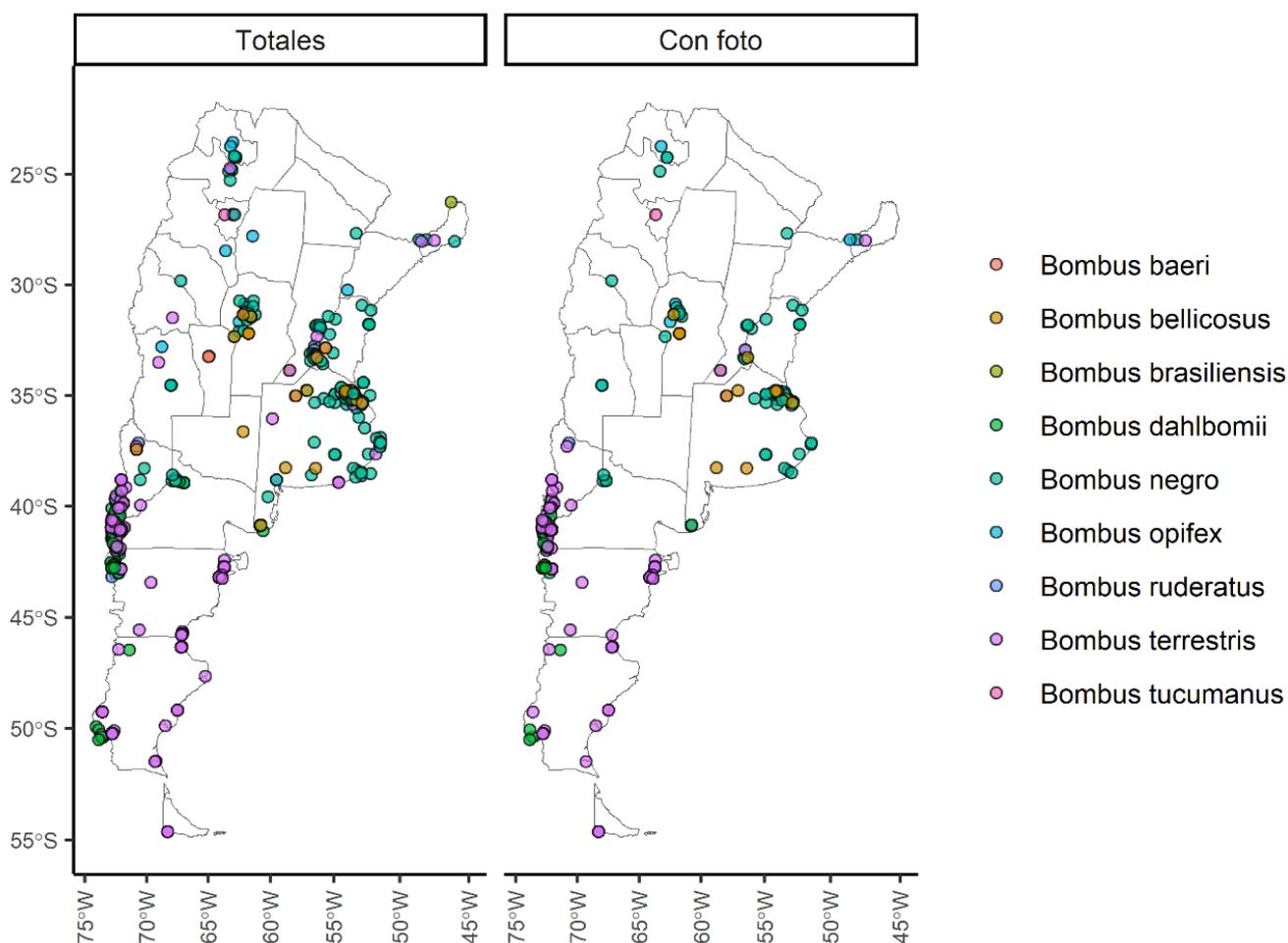
**Figura 5:** Registros totales recibidos por Vi Un Abejorro. Este mapa ilustra el alcance que tuvo el proyecto a lo largo del país en su primer año de funcionamiento.

En orden de mayor a menor cantidad de registros totales, las especies de abejorros registradas fueron *Bombus negro* (grupo de especies que incluye a *B. pauloensis* y *B. morio*) (344), *B. terrestris* (264), *B. dahlbomii* (233), *B. ruderatus* (47),

*B. bellicosus* (28), *B. opifex* (16), *B. tucumanus* (7), *B. brasiliensis* (2), *B. baeri* (2). En 38 registros, se obtuvieron respuestas similares a “No lo puedo identificar”, “No lo sé”, “No estoy seguro/a” a la hora de determinar la especie, por lo tanto, estos datos sólo brindan información acerca del alcance que tiene el proyecto a lo largo del país, siempre y cuando se encuentren detalladas las coordenadas del avistamiento.

Con respecto a los medios elegidos por el público para realizar los registros, el más elegido fue el formulario de Google presente en la página web oficial del proyecto (622), seguido por Instagram (237), WhatsApp (156), Facebook (13), Telegram (9) y, por último, Twitter (4) (ver detalle para cada especie de *Bombus* en la Tabla A1 en el Anexo).

Debido a que el envío de una foto del ejemplar visto es opcional, un gran número de registros no estuvieron acompañados de una imagen de la especie avistada. La imagen del abejorro visto resultó ser fundamental para la identificación de la especie, por lo que construí mapas basados en ambos tipos de registros para evaluar sus diferencias. En la **Figura 6**, se puede observar el número de registros totales de *Bombus* a la izquierda, y validados, es decir, que fueron registrados con imágenes, a la derecha. En total, se obtuvieron 324 registros validados de abejorros del género *Bombus*. Se observa que, cuando se eliminan los registros sin imágenes adjuntas, disminuye notablemente el número de puntos, y varias provincias quedan sin información, como La Pampa, Santiago del Estero, Catamarca y Corrientes.



**Figura 6.** Comparación entre el alcance de los registros de *Bombus* totales de recibidos (izquierda), con el de los registros validados (derecha). Se observa que, al considerar sólo los registros validados, el alcance es menor, y que 4 provincias quedan sin información sobre las ocurrencias.

Por otro lado, el número de especies también disminuye cuando se consideran sólo los registros validados. Por ejemplo, en el caso de las especies *B. brasiliensis*, *B. tucumanus* y *B. baeri*, en ninguno de los registros se adjuntaron fotos de los ejemplares, por lo que no se podría corroborar que efectivamente sean esas las especies avistadas. En la **Tabla 2** se puede observar el número total de registros recibidos de cada especie y grupo, y el número total de registros validados para cada una.

<b>Especie</b>	<b>Registros totales</b>	<b>Registros validados</b>
<i>B. negro</i>	346	81
<i>B. terrestris</i>	262	151
<i>B. dahlbomii</i>	233	70
<i>B. ruderatus</i>	47	1
<i>B. bellicosus</i>	28	15
<i>B. opifex</i>	15	6
<i>B. tucumanus</i>	8	0
<i>B. brasiliensis</i>	2	0
<i>B. baeri</i>	2	0
<i>Sin identificar</i>	38	-
<i>Xylocopa</i>	54	32
<i>Otros*</i>	6	6
<b>Total</b>	1041	362

**Tabla 2.** Número de registros totales y validados para cada una de las especies de abejorros. Otros\* hace referencia a *C. occidentalis*, *D. gayi* y *C. caeruleus*.

La especie con mayor número de registros validados fue *B. terrestris*: de los 264 registros totales recibidos, 151 contenían fotos de la especie. De los 264 registros totales, 227 fueron registrados en la región patagónica, donde se sabe que la especie habita actualmente. Los demás provinieron de distintas partes del país, donde la especie no ha sido registrada aún. Si bien esta especie podría estar expandiéndose a nuevas regiones, esto no puede ser corroborado con estos registros ya que, por ejemplo, en 6 de ellos, el nombre de la especie registrada figuraba como “*Bombus terrestris*”, pero las imágenes adjuntas correspondían a la especie de abeja carpintera, *Xylocopa augusti* (**Figura 7**). Los demás registros provenientes de regiones fuera de la Patagonia no contaban con foto, por lo que no se puede verificar que haya sido *B. terrestris* la especie observada.



**Figura 7:** Hembra de *Xylocopa augusti*, registrada en 6 ocasiones como “*Bombus terrestris*”.

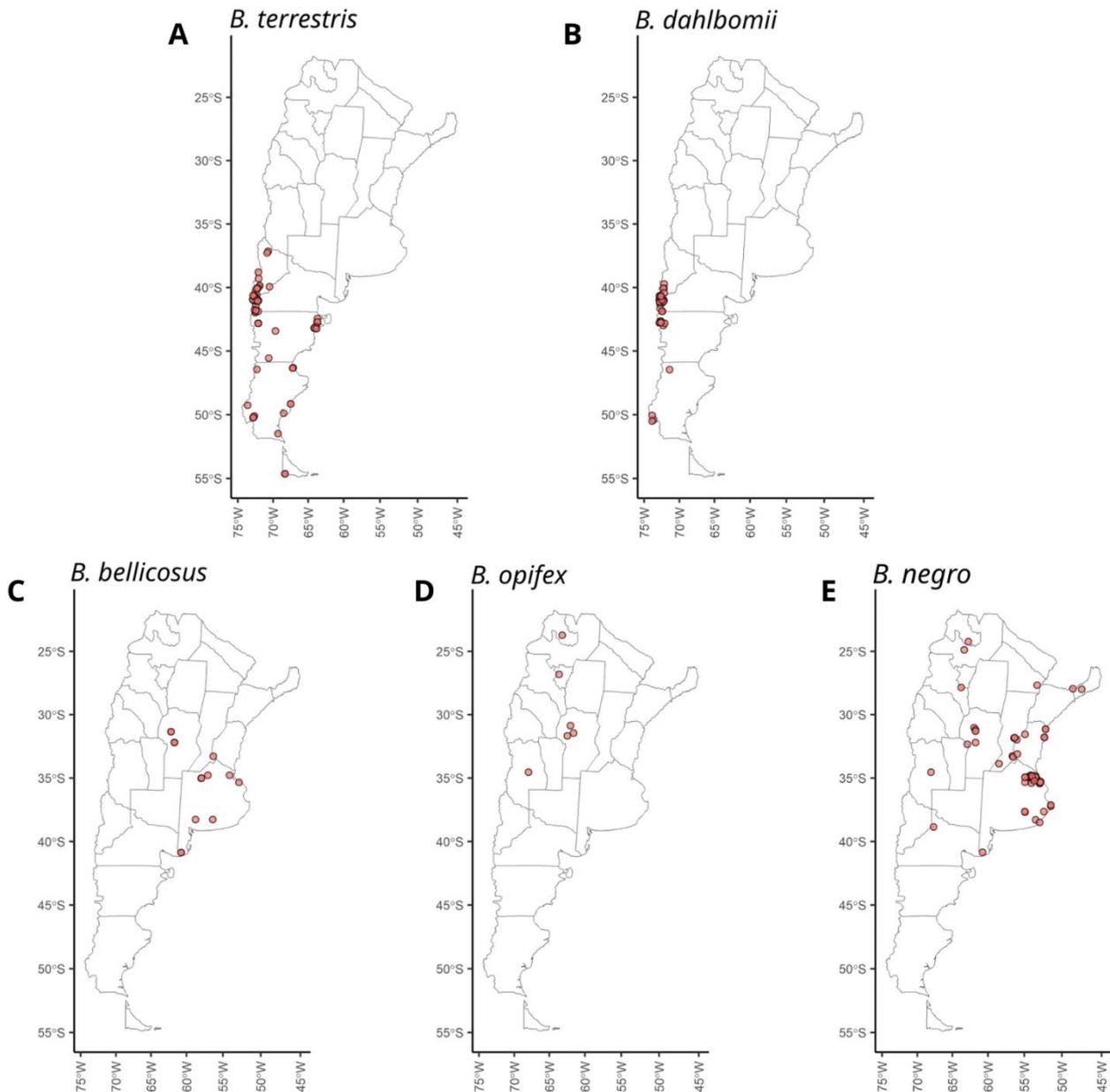
En total, se han recibido 54 registros de especímenes del género *Xylocopa*, donde se incluyen las especies *X. augusti* (25), *X. frontalis* (5), *X. eximia* (2), y otras cuya especie no pudo ser determinada con exactitud (22). En la mayoría de estos casos, los participantes reportaban haber visto un abejorro, sin aclarar de qué especie se trataba, o se hacía alusión a estas abejas carpinteras con el nombre de “abejorros carpinteros”, como son llamadas en extensas regiones del país.

Por otro lado se recibieron, aunque en menor cantidad, avistamientos de las especies *Chalepogenus caeruleus* (2), *Diphaglossa gayi* (2), y *Cadeguala occidentalis* (2). Estas últimas dos especies fueron confundidas con *B. dahlbomii* (**Figura 8**).



**Figura 8.** Especies con pilosidad naranja que suelen ser confundidas por el público. A: *Bombus dahlbomii*. B: *Diphaglossa gayi*. C: *Cadeguala occidentalis*. Imágenes A: Gonzalo Carnevale. B: Cristian Villagra. C: Eduardo Zattara.

Una vez analizados los registros totales recibidos, realicé mapas de distribución de las especies de *Bombus* que contaron con registros validados, siendo éstas *B. terrestris*, *B. dahlbomii*, *B. bellicosus*, *B. opifex* y el conjunto de especies “*Bombus negro*” (Figura 9).



**Figura 9.** Mapas de distribución de distintas especies de *Bombus* obtenidos en base a registros validados con fotos del proyecto “Vi Un Abejorro”.

Al graficar la distribución de las especies dada por los registros del proyecto de ciencia ciudadana, se puede observar que, en general, se mantiene el patrón de

distribución de las mismas planteadas por Abrahamovich y colaboradores en el año 2007 (ver Anexo), siendo las distribuciones planteadas por Vi Un Abejorro geográficamente más acotadas.

La distribución de *B. terrestris* es similar a la presentada en 2021 por Fontúrbel y colaboradores (Fontúrbel et al. 2021), comprendiendo todas las provincias de la región patagónica argentina, desde Neuquén hasta Tierra del Fuego, y desde la zona cordillerana hasta la costa atlántica (ver **Mapa M1** en el Anexo). La distribución de *B. dahlbomii*, según Vi Un Abejorro, se encuentra restringida únicamente a la región cordillerana, comprendiendo las provincias desde Neuquén hasta Santa Cruz, lo cual es coincidente con la distribución planteada en estudios previos (Morales et al. 2022) (Ver **Mapa M2** en el Anexo).

La distribución de *B. bellicosus* obtenida por el proyecto de ciencia ciudadana resulta similar a la planteada por Abrahamovich en 2007 (ver **Mapa M3** en el Anexo), ya que se recibieron registros de la especie provenientes de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Sin embargo, según la distribución histórica, la especie debería encontrarse también en San Luis, La Pampa, Río Negro, Corrientes y Misiones. Por su parte, *B. opifex* se registró en las provincias de Mendoza, Córdoba, Tucumán y Jujuy. En su distribución histórica, esta especie ocupa las provincias mencionadas, junto con Salta, San Luis, San Juan, La Rioja, Catamarca y Santiago del Estero (ver **Mapa M4** en el Anexo).

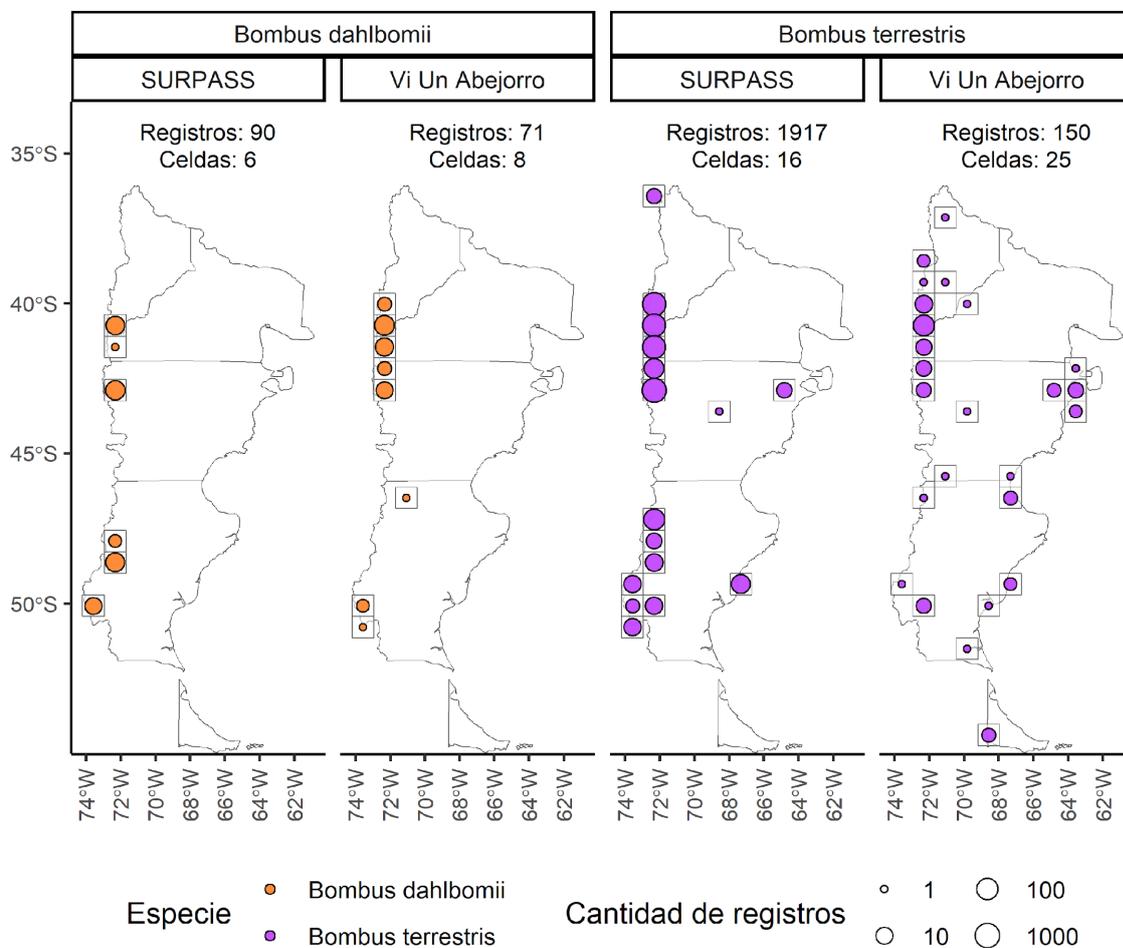
Por último, para el conjunto de especies “B. negro” se realizó un sólo mapa de distribución unificando los registros de las especies *B. pauloensis* y *B. morio*, (debido a que pueden presentar formas totalmente negras, que son indistinguibles a partir de una fotografía) por lo que, como resultado, los puntos obtenidos por Vi Un Abejorro muestran dónde se encuentra el morfotipo negro, lo cual unifica las distribuciones planteadas por Abrahamovich y colaboradores (2007) para ambas especies (Ver **Mapas M5 y M6** en el Anexo).

## Ciencia ciudadana vs Monitoreos tradicionales a campo

Al comparar la información obtenida por la ciencia ciudadana con la obtenida por los investigadores en los muestreos de campo, se pudo observar que durante la temporada 2021-2022, Vi Un Abejorro fue capaz de reunir 71 registros validados de *B. dahlbomii* en la región Patagónica, mientras que en el muestreo de SURPASS, se

obtuvieron 90 registros de esa especie. Sin embargo, en la **Figura 10**, donde cada celda coloreada corresponde a un área cuadrada de 80 km de lado, se puede observar que los datos recibidos a través de la ciencia ciudadana provienen de un mayor número de celdas (8 contra 6), es decir, provienen de una mayor área geográfica. Lo mismo ocurrió para la especie *B. terrestris*, donde los investigadores obtuvieron 1917 registros de la especie ubicados en 16 celdas de 80 km de lado, mientras que la ciencia ciudadana reunió tan sólo 150 registros, pero en 25 celdas, abarcando también un mayor número de puntos geográficos.

Con los datos analizados en esta parte, se puede observar la distribución diferencial que tienen ambas especies, estando la invasión de *B. terrestris* extendida a lo largo de toda la Patagonia, presente en múltiples regiones desde la cordillera hasta el mar, mientras que *B. dahlbomii* se encuentra en mayor medida en zonas de la región cordillerana, cerca del límite con Chile.



**Figura 10:** Comparación de los registros obtenidos por Vi Un Abejorro con los obtenidos por el proyecto SURPASS para las dos especies de abejorros: *B. dahlbomii* (izquierda, con puntos naranjas) y *B.*

*terrestris* (derecha, con puntos violetas). Cada celda corresponde a un área cuadrada de 80 km de lado. El tamaño de cada punto indica la cantidad de registros correspondientes a cada celda.

Por último, como resultado del test de Chi-cuadrado realizado para comparar el número de observaciones de las especies en cada metodología, se observó que existe evidencia fuerte de una asociación entre el número de registros para las distintas especies y la metodología utilizada para realizar los registros, por lo que la cantidad de registros que se obtiene de cada especie no es independiente de la metodología (X-squared: 222.8,  $p < 0.0001$ ) (**Tabla 3**).

<b>Especie/Metodología</b>	<b>Vi Un Abejorro</b>	<b>Muestras tradicionales a campo</b>
<b><i>Bombus dahlbomii</i></b>	71	90
<b><i>Bombus terrestris</i></b>	150	1917

**Tabla 3.** Número de ocurrencias de cada especie reportadas por cada metodología

Con respecto a las abundancias relativas de las especies obtenidas por las distintas metodologías, se observa que según los datos de Vi Un Abejorro, con 150 registros de *B. terrestris* y 71 de *B. dahlbomii*, la abundancia relativa del primero duplica la del segundo (por cada *B. dahlbomii* encontrado, se encuentran 2,11 *B. terrestris*), mientras que para los muestreos a campo se obtuvieron 1917 observaciones de *B. terrestris* y 90 de *B. dahlbomii*, por lo que la especie exótica tiene una abundancia relativa 21 veces mayor que la de la nativa (por cada *B. dahlbomii*, se encuentran 21,3 *B. terrestris*).

## Proyecto de remoción de reinas de *B. terrestris*

Durante el desarrollo del proyecto de remoción de reinas de *B. terrestris*, se realizaron en total 29 salidas de campo, en las cuales se visitó cada uno de los sitios al menos 6 veces. En las salidas de campo sólo se observaron ejemplares de *B. terrestris*, y ninguno de *B. dahlbomii*.

Uno de los primeros resultados obtenidos al momento de finalizar las salidas de campo mostró la existencia de mucha variación entre sitios con respecto a la abundancia de abejorros totales (teniendo en cuenta ambas transectas, y tanto reinas como obreras), siendo Lago Gutiérrez la zona de menor abundancia (35), seguido por

Challhuaco (85), luego Cerro Otto (233) y, por último, Llao Llao con la mayor abundancia de abejorros (367) (**Tabla 4**).

Por otro lado, se analizó la efectividad de la metodología para atrapar las reinas en las distintas transectas y, teniendo en cuenta las reinas totales observadas y las atrapadas, se encontró que en cada una de las transectas se pudo atrapar, en promedio, sólo un 23,8% de todas las reinas encontradas. No se encontró ninguna reina marcada con esmalte durante todo el experimento.

Sitio	Inicio de tratamiento	Fin de tratamiento	Tratamiento	N° de muestreos	Reinas totales vistas	Reinas totales marcadas o removidas	Obreras encontradas
Llao Llao	28/9/21	24/2/22	Remoción	10	228	73	19
			Control	10	84	26	36
Lago Gutiérrez	8/10/21	2/3/22	Remoción	6	8	2	0
			Control	6	17	6	10
Cerro Otto	12/10/21	3/3/22	Remoción	7	19	7	141
			Control	7	18	2	55
Challhuaco	27/10/21	10/3/22	Remoción	6	5	0	26
			Control	6	5	1	49

**Tabla 4.** Fechas en las que iniciaron y finalizaron las salidas de campo en cada sitio, junto con el número de abejorros de cada casta observados en cada caso.

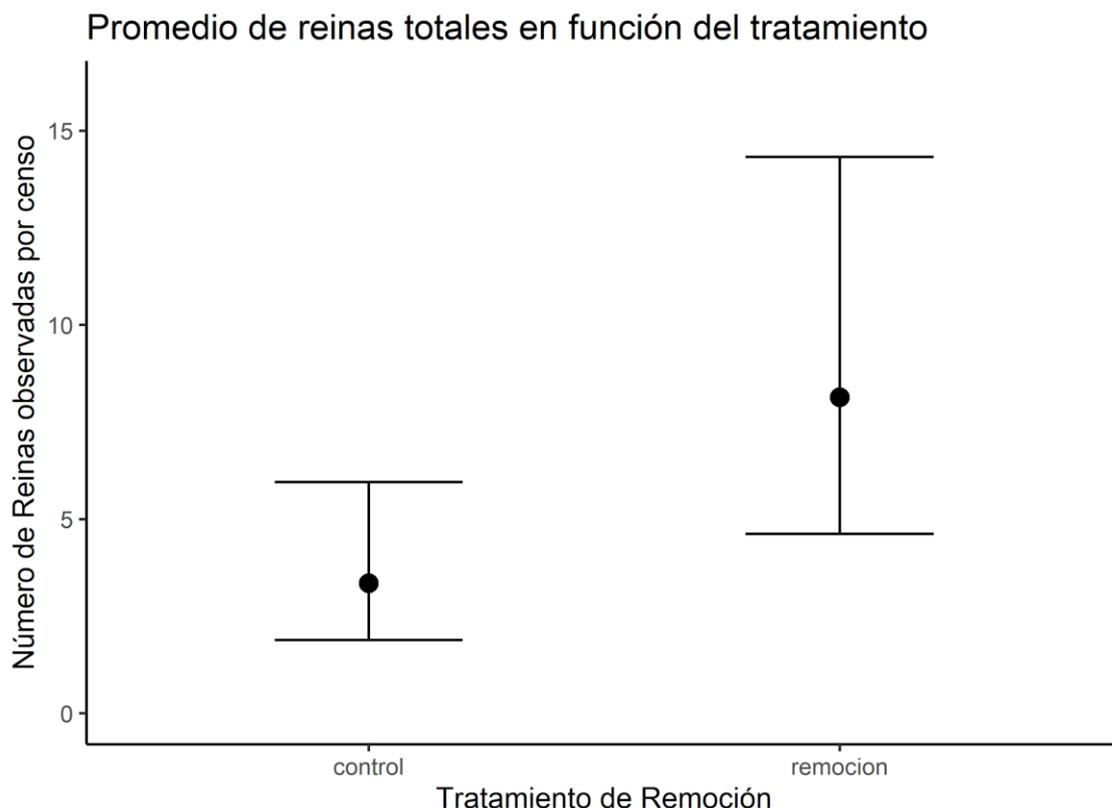
Dado que en la zona de Challhuaco no fue posible atrapar ninguna reina en las transectas de remoción, lo cual implica que el tratamiento no pudo ser llevado a cabo, consideré apropiado excluir este sitio de los análisis estadísticos posteriores.

#### Primera etapa: aplicación del tratamiento

Para analizar estadísticamente los efectos del tratamiento en la primera etapa (en la cual se llevó a cabo la remoción y el marcado de reinas de *B. terrestris*), propuse dos modelos. El primero evalúa de qué manera el número de reinas totales

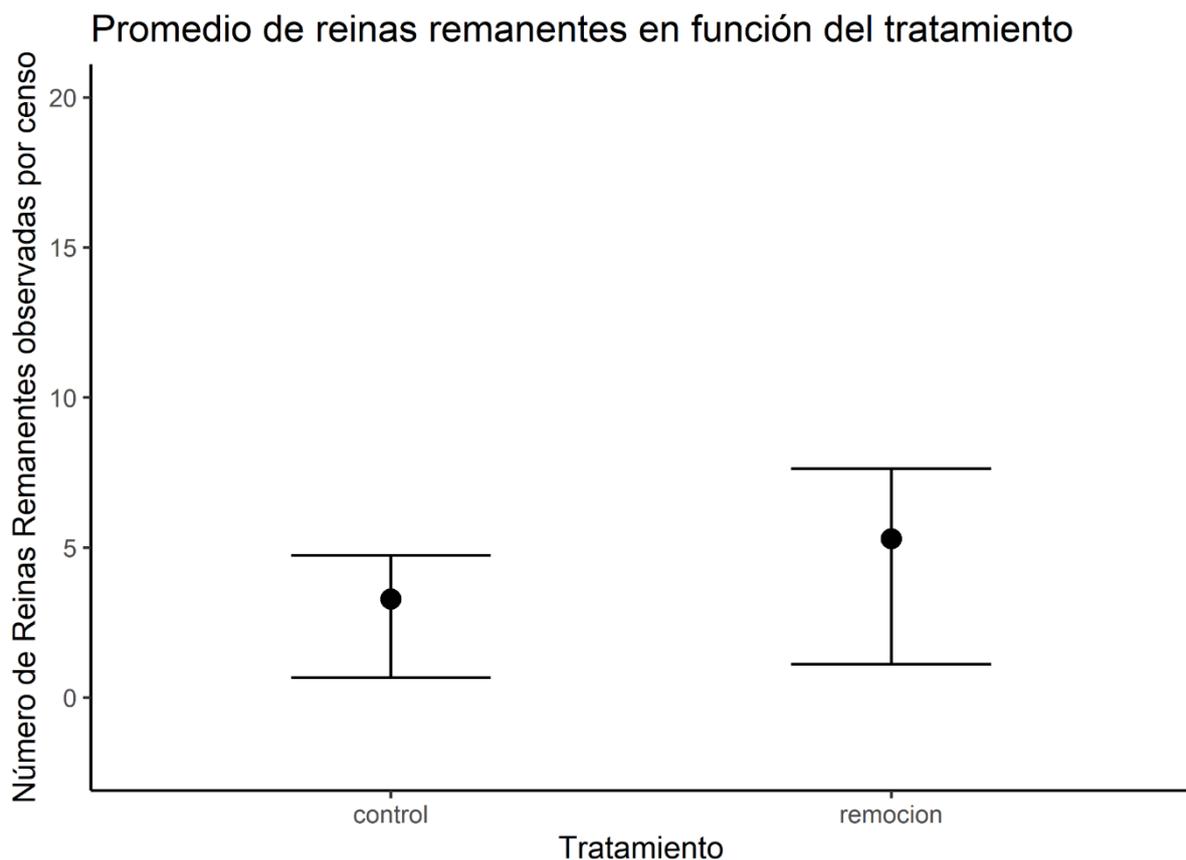
encontrado está explicado por el tratamiento y la abundancia de flores, y el segundo, cómo el número de reinas remanentes está explicado por el tratamiento y la abundancia de flores, en ambos casos teniendo en cuenta el efecto aleatorio del sitio.

En el primer modelo, encontré evidencias moderadas de que tanto el tratamiento como la abundancia de flores tienen influencia sobre la abundancia de reinas (Tabla A2 y A3 en el Anexo). El efecto del tratamiento indicó que se encontraron más reinas en las transectas destinadas a la remoción que en las transectas control ( $Z=2.223$ ,  $p=0.026$ ) (**Figura 11**). Esto implica que, si bien la asignación de los tratamientos a las transectas fue al azar, las dos transectas de cada sitio no eran homogéneas en términos de abundancia de reinas, dando lugar a que las transectas de remoción tuvieran sistemáticamente más reinas que sus respectivos controles. Por otro lado, la abundancia de flores mostró una influencia negativa ( $Z=-0.10144$ ,  $p=0.041$ ), indicando que cuanto mayor era la abundancia floral, menor era el número de reinas encontrado.



**Figura 11:** Medias ajustadas y errores estándar del número de reinas totales por tratamiento (factor fijo), considerando al sitio como efecto aleatorio.

Por otro lado, el segundo modelo planteado para esta parte buscó evaluar el efecto del tratamiento en el número de reinas remanentes, para evaluar cuántas reinas quedan libres en cada tratamiento luego de cada censo. Como resultado, este modelo mostró que no hay evidencias de un efecto del tratamiento en el número de reinas remanentes ( $Z=1.239$ ,  $p=0.21521$ ), y que hay evidencias moderadas de que la abundancia de flores tiene una influencia negativa en el número de reinas remanentes ( $Z=-2.135$ ,  $p=0.03274$ ). El número promedio de reinas remanentes por tratamiento se puede observar en la **Figura 12** y los resultados del modelo en las tablas A4 y A5 en el Anexo.



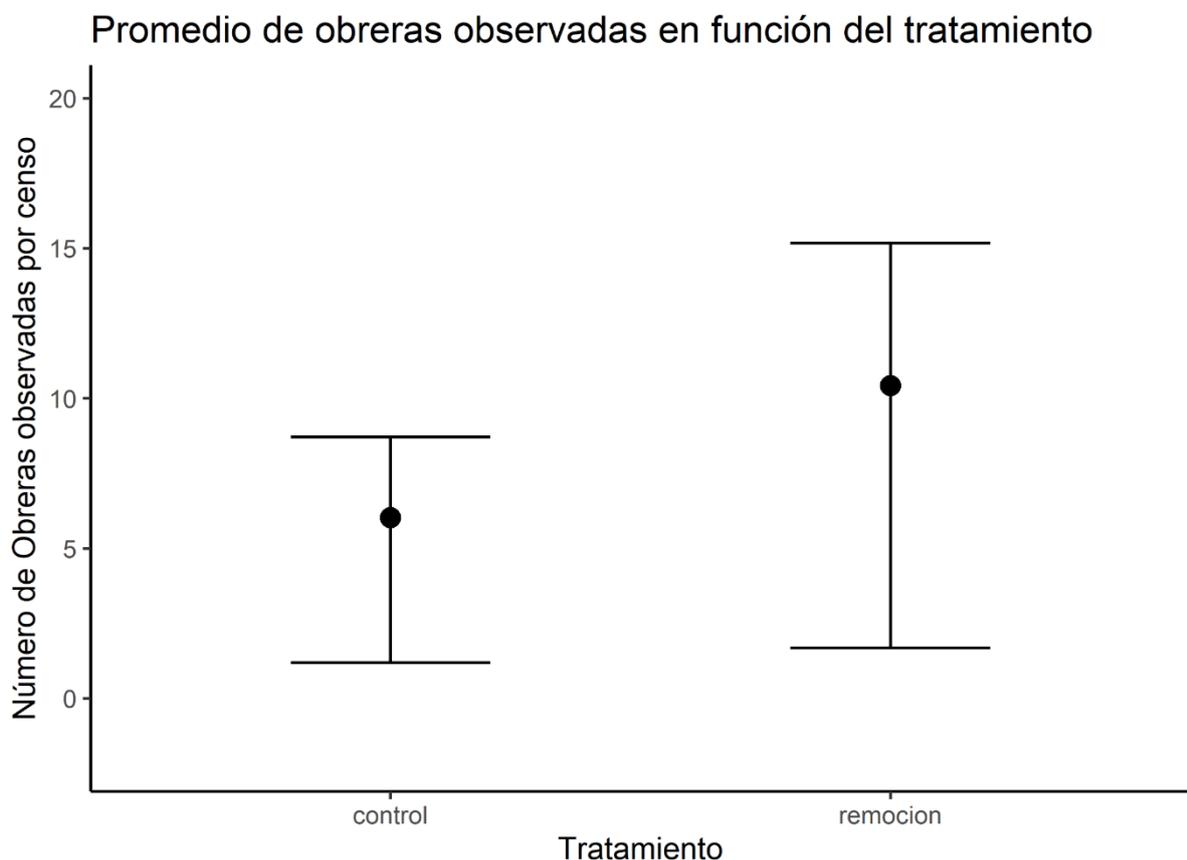
**Figura 12.** Medias ajustadas y errores estándar del número de reinas remanentes por tratamiento durante la primera etapa del experimento.

Segunda etapa: evaluación del efecto del tratamiento aplicado.

La segunda etapa consistió en evaluar el efecto del tratamiento sobre la respuesta de interés último del experimento que, en este caso, es el número de obreras observado luego del periodo de aplicación del tratamiento. Recapitulando la

predicción propuesta, se esperaba que la abundancia de obreras sea menor en las transectas en las cuales se removieron las reinas de *B. terrestris*, que en las que funcionaron como control.

Como resultado del tercer modelo planteado, en el cual evalué cómo la abundancia de obreras está explicada por el tratamiento y la abundancia de flores, encontré fuertes evidencias de que la abundancia total de obreras está afectada por la abundancia de flores de forma positiva ( $Z=3.908$ ,  $p<0.005$ ), mientras que no encontré evidencias de un efecto del tratamiento ( $Z=1.512$ ,  $p=0.131$ ), es decir, no hay evidencia de una diferencia del número de obreras entre transectas (Tabla A6 y A7 en Anexo). Esto se puede ver en la **Figura 13**.



**Figura 13.** Medias ajustadas y errores estándar del número de obreras encontradas por tratamiento.

Finalmente, se planteó un último modelo (Modelo 4), en el que se tuvo en cuenta el número de reinas remanentes como un factor aleatorio del modelo, y se buscó analizar cómo estas influyen en el número de obreras (Tablas A8 y A9 en el Anexo). Como resultado, se pudo observar que el efecto del tratamiento sobre las

obreras, a pesar de mostrar una tendencia negativa (que era lo esperado para este experimento), no es significativo en términos estadísticos ( $Z=-0.433$ ,  $p=0.665$ ).

## Discusión

### *Bombus* y ciencia ciudadana: primera aproximación

En tan sólo un año, el proyecto de ciencia ciudadana “Vi Un Abejorro” logró un gran alcance, obteniendo un total de 1041 registros provenientes de todas las provincias argentinas. Una de las especies con mayor cantidad de registros validados fue la especie de abejorro nativa *Bombus dahlbomii* (70), a pesar de su tendencia a la declinación y a lo difícil que suele ser encontrarla en la naturaleza. El hecho de que *B. dahlbomii* haya sido registrado frecuentemente por el público podría deberse a que, al ser una especie en peligro, resulta de alguna forma “atractiva” para el público, y su registro podría considerarse de mayor valor por el hecho de ser raro.

Los registros validados recibidos por el proyecto de ciencia ciudadana permitieron desarrollar mapas de distribución de 6 de las 10 especies de abejorros del país: *B. terrestris*, *B. dahlbomii*, *B. bellicosus*, *B. opifex* y el conjunto de especies “B. negro”. Al comparar las distribuciones de *B. bellicosus*, *B. opifex* y “B. negro” publicadas en trabajos anteriores con las obtenidas en esta tesis, se puede observar que las mismas son similares, coincidiendo en la presencia de las especies en varias provincias, pero siendo las obtenidas por Vi Un Abejorro geográficamente más acotadas que las publicadas en 2007 por Abrahamovich y colaboradores. Esto podría deberse a que Vi Un Abejorro es un proyecto que se encuentra en sus inicios, que cuenta con pocos registros validados y que aún no logró alcanzar todas las provincias argentinas. Los datos obtenidos para la especie *B. bellicosus* en particular resultan interesantes debido a que un estudio realizado por Martins y colaboradores (Martins y Melo 2010) muestra la falta de información sobre la presencia de esta especie en varias provincias argentinas, siendo los últimos registros conocidos previos a 1990.

Con respecto al grupo de especies denominadas “Bombus negro”, se obtuvo un alto número de registros validados (81), sin embargo, dado que las dos especies que conforman el grupo (*B. pauloensis* y *B. morio*) son usualmente tan similares,

resultan indistinguibles a partir de una fotografía. Además, si bien según Abrahamovich y colaboradores (2007) ambas especies poseen distribuciones geográficas diferentes, las mismas se solapan en al menos 9 provincias (Ver **Mapas M5 y M6** en el Anexo). Entonces, en el caso particular de estas dos especies, el proyecto Vi Un Abejorro resulta muy útil para determinar dónde se encuentra el morfotipo negro de abejorros, pero no es adecuado para la determinación de la ocurrencia de cada especie en particular.

Para *B. terrestris* y *B. dahlbomii* existe bibliografía más actualizada sobre su distribución (Fontúrbel et al. 2021; Morales et al. 2022), debido a que se estima que el avance de la primera está vinculada al retroceso de la segunda (Morales et al. 2013), y para ambas especies, la distribución obtenida a través de Vi Un Abejorro es coincidente con la publicada en los trabajos anteriores mencionados. El hecho de haber obtenido distribuciones más acertadas para estas últimas dos especies podría explicarse a partir de que en la región patagónica, donde se encuentran tanto *B. terrestris* como *B. dahlbomii*, es donde se llevó a cabo la mayor promoción del proyecto de ciencia ciudadana, y es una de las regiones del país de las cuales se obtuvo un mayor número de registros. Esto último puede explicar, a su vez, el elevado número de registros validados obtenidos para *B. dahlbomii*.

A pesar de haber obtenido registros validados suficientes para realizar mapas de distribución de *B. terrestris* y *B. dahlbomii*, el número de registros resulta bajo cuando se lo compara con las ocurrencias de dichas especies reportadas por los investigadores en los muestreos a campo. Por ejemplo, para *B. terrestris*, los investigadores obtuvieron casi diez veces más ocurrencias que Vi Un Abejorro (1917 contra 150 registros), lo cual podría estar vinculado a que, en los muestreos a campo, los investigadores registraron la totalidad de abejorros observados, mientras que no se tiene certeza de que los participantes del proyecto hayan hecho lo mismo. Sin embargo, al hacer la comparación de ocurrencias registradas por ambas metodologías, se pudo observar que Vi Un Abejorro logró obtener datos de presencia de las especies en un mayor número de puntos geográficos. Esto podría estar relacionado al hecho de que un grupo de investigadores puede viajar por largas distancias, pero difícilmente accede a todas las localidades del área recorrida, en particular en la región patagónica, la cual está atravesada por distancias que van de los cientos a los miles de kilómetros, cuyos caminos muchas veces requieren el traslado en vehículos 4x4 y donde el acceso a las zonas más australes se dificulta

por la necesidad de una embarcación. Mientras, el proyecto de ciencia ciudadana, al ser accesible a través de internet y las redes sociales, tiene el potencial de extenderse hasta todas las localidades, por más remotas que estas sean, logrando así obtener información sobre la ocurrencia de las especies sin la necesidad de largos y costosos traslados.

Con respecto a las abundancias relativas obtenidas por las distintas metodologías, es notable la diferencia hallada entre ellas. Los datos obtenidos por el proyecto de Vi Un Abejorro sugieren que la abundancia de *B. terrestris* es el doble que la de *B. dahlbomii*, mientras que los datos obtenidos en los muestreos a campo muestran que la abundancia del primero es 21 veces mayor que la del segundo. Cuando ambas especies están presentes en un mismo hábitat, la probabilidad de encontrarlas es similar, debido a que poseen tamaños y comportamientos similares, y pueden ser encontrados visitando las mismas flores. Sin embargo, el hecho de haber obtenido una diferencia tan grande en las estimaciones entre ambas metodologías podría estar relacionado a que, a pesar de que su probabilidad de ser observadas es similar, no lo es su probabilidad de ser reportadas por el público. Durante la difusión del proyecto Vi Un Abejorro, se hizo énfasis en el estado de conservación de *B. dahlbomii*, y en lo difícil que puede resultar encontrarlo en la naturaleza. Esto podría haber influenciado a los participantes a enviar más registros de esta especie, obteniendo así una abundancia relativa muy distinta a la que se puede hallar en el campo. Esta sobreestimación de la abundancia es un sesgo común en las iniciativas de ciencia ciudadana (Danielsen et al. 2005), así como lo es la obtención de un mayor número de registros en las zonas donde hay más personas participando del proyecto, lo cual no necesariamente implica que la especie sea más abundante allí (Dickinson et al. 2010). Con respecto a esto último, si bien la mayoría de los registros obtenidos por Vi Un Abejorro fueron realizados desde zonas urbanas, los datos provenientes de zonas rurales sirvieron para confirmar la presencia de las especies en nuevos puntos geográficos.

Considero, de todas formas, que ambas metodologías son efectivas, ya que utilizando ambas a la misma vez se puede obtener información más completa y de calidad que si se utilizara sólo una de las dos para tratar de abarcar todas las preguntas de interés. Esto resulta particularmente útil ya que, por ejemplo, la falta de financiación de investigación a largo plazo generó vacíos de información en los años en los que no se pudieron realizar muestreos en el campo. Para el caso particular de

esta tesis, articulando ambas metodologías se podrían realizar, por ejemplo, mapas de distribución adecuados para las especies *B. pauloensis* y *B. morio*, ya que observando a los abejorros in situ, probablemente podrían identificarse detalles que ayuden a distinguirlas, y luego esa distribución podría mantenerse actualizada gracias a la ciencia ciudadana.

Otro de los resultados de esta etapa inicial del proyecto de ciencia ciudadana fue el alto número de registros de abejas carpinteras del género *Xylocopa* (54 en total). Varias especies de abejorros coexisten en su rango geográfico con estas abejas (Lucía 2011) y, en muchos lugares, las mismas son conocidas comúnmente como “abejorros carpinteros”, lo cual da lugar a confusión entre los participantes, dado el nombre de “Vi Un Abejorro”. Si bien para la presente tesis no se analizaron los datos de las ocurrencias de *Xylocopa*, cada uno de los avistamientos fue registrado con su fecha y coordenadas geográficas, y podrían ser utilizados para responder preguntas en el futuro.

## Vi Un Abejorro: consideraciones a futuro

En esta primera aproximación a la ciencia ciudadana logré identificar distintos aspectos que pueden ser modificados en pos de mejorar la calidad de la información recibida del público. En primer lugar, se evidencia la importancia de que cada avistamiento vaya acompañado por una imagen del ejemplar visto para poder validar el registro, ya que sólo estos son tenidos en cuenta a la hora de responder preguntas científicas. En una primera instancia del proyecto, se propuso que el envío de imágenes no sea obligatorio para registrar un avistamiento, para fomentar y facilitar la participación del público. Por otro lado, se esperó que los participantes pudieran reconocer a las distintas especies de abejorros por las fotos expuestas en las redes sociales del proyecto, donde se explicaba el patrón de coloración de cada una, dónde encontrarlas y cómo reconocerlas, pero esto no fue siempre así: 5 de las 10 especies de abejorros de Argentina presentan un patrón de coloración compuesto por bandas amarillas y negras (*B. terrestris*, *B. ruderatus*, *B. tucumanus*, *B. brasiliensis* y la forma flavínica de *B. pauloensis*), lo que hace que sean difíciles de distinguir incluso contando con imágenes referenciales de las mismas (ver **Figura 2**), por lo que en un futuro, sería conveniente que las personas aclaren el nombre de la especie sólo si lograron reconocerla, y que no sea obligatorio para poder realizar el registro (como lo

era, por ejemplo, para enviar un registro a través de los formularios de Google). Además, resulta importante hacer hincapié en las diferencias morfológicas que tienen las especies entre sí, tanto entre especies dentro del género *Bombus*, como entre este grupo con otros géneros y familias, para que el público pueda reconocerlas al encontrarlas. Esto es particularmente relevante en regiones como la Patagonia, donde *B. dahlbomii*, una especie en peligro, coexiste con especies de características similares (por ejemplo, la pilosidad anaranjada), como *Cadeguala occidentalis* o *Diphaglossa gayi*, o en regiones del centro del país, donde *Bombus pauloensis* y *Bombus morio*, ambas especies con pilosidad totalmente negra, comparten su distribución con especies de *Xylocopa* con la misma característica.

Por otro lado, un gran número de registros de *B. terrestris* no cuentan con una imagen de la especie vista, y algunos de ellos provienen de distintas provincias ubicadas al norte de Neuquén y Río Negro, por fuera de la región patagónica (**Figura 5**), donde no hay indicios de que la especie haya arribado. Sin la evidencia que representa la imagen de la especie, no se puede corroborar si la invasión está efectivamente expandiéndose o no, lo cual había sido planteado como uno de los objetivos de esta tesis. Por lo tanto, al tener en cuenta sólo los registros con imágenes adjuntas, la estimación de la distribución geográfica de las especies se logra con una mayor certeza.

La presencia de registros fotográficos permite, además, por medio de una revisión manual, validar si la identidad de la especie propuesta por los participantes es coincidente con la especie fotografiada. Esto resulta importante, debido a que en muchos casos el nombre de la especie observada no se correspondía con la especie que figura en la foto, como ocurrió con las imágenes de *Xylocopa augusti* registradas bajo el nombre de *B. terrestris*. En este sentido, se vio que la plataforma iNaturalist resulta muy útil, porque todos los registros poseen una foto del ejemplar visto junto con una posible identificación de la especie, y son datos abiertos al público, disponibles para ser utilizados. Sin embargo, la gran mayoría de los registros y de la comunicación con el público durante el desarrollo de esta tesis, ocurrieron a través de las redes sociales de uso cotidiano, como Instagram y WhatsApp, y la página web. En general, los participantes desconocían la aplicación de iNaturalist, y mostraron desinterés en crear un nuevo usuario en una nueva aplicación para realizar un registro, por lo que considero que es importante que los proyectos de ciencia ciudadana sean accesibles a través de diversos medios, en este caso, distintas redes

sociales y aplicaciones de mensajerías, para asegurar la variabilidad de los datos y el alcance a un público más amplio y heterogéneo.

Por último, otro aspecto importante a implementar en el funcionamiento de Vi Un Abejorro en el futuro, es la obtención de información sobre la identidad de los participantes, ya sea su nombre, edad u ocupación, entre otros aspectos. Esto permitiría analizar cómo es el comportamiento de los mismos a la hora de participar del proyecto. Si bien en los formularios de Google donde los participantes podían enviar sus registros existía un campo en el cual se les preguntaba a qué se dedicaban en su vida cotidiana, no todas las personas completaron ese campo, y no se obtuvo esa información de los participantes que enviaron sus registros por otros medios (WhatsApp, Instagram etc.), por lo que hacer un estudio considerando sólo la información de los que completaron aquel campo no sería del todo representativo de la totalidad de participantes del proyecto. Por esta imposibilidad de conocer la identidad de la mayoría de los participantes, algunos interrogantes interesantes como, por ejemplo, si una misma persona participa más de una vez del proyecto, si registra en mayor medida a *B. dahlbomii* que a *B. terrestris*, si existe alguna ocupación o grupo etario que tenga mayor participación en el proyecto, entre otros, no pudieron responderse con la información generada por el primer año de datos de este proyecto.

A pesar de estas dificultades, se vio que la ciencia ciudadana es una aproximación muy útil para la obtención de información y en particular en Argentina, donde ya varios proyectos de este estilo lograron, con ayuda del público, expandir el conocimiento de la distribución de distintas especies, logrando no sólo esto sino también el compromiso y toma de conciencia hacia la conservación de la biodiversidad y del aprendizaje científico (Deutsch, Bilenca, y Agostini 2017; Werenkraut, Baudino, y Roy 2020; Domínguez et al. 2021).

## Remover *B. terrestris* de la naturaleza: un largo camino por recorrer

Dada la alta abundancia de *B. terrestris* en la región patagónica, en particular en la ciudad de Bariloche y sus áreas protegidas circundantes, la metodología propuesta en la presente tesis no parece resultar adecuada para reducir efectivamente la abundancia de esta especie de la naturaleza, como se esperaba a raíz de lo planteado en trabajos anteriores que siguieron metodologías similares

(Nagamitsu et al. 2010). Por esta razón, considero a este experimento como una “prueba piloto”, cuya metodología y dificultades halladas durante su transcurso podrían funcionar como punto de partida para futuros trabajos que busquen utilizar la remoción como una estrategia de control poblacional de esta especie. Al ser el éxito de captura tan bajo (se atrapó, en promedio, un 23% de las reinas encontradas), una importante cantidad de reinas pudieron quedar libres y formar nuevas colonias, lo cual se vio reflejado en la segunda etapa del tratamiento, cuando se cuantificó el número de obreras presentes en cada sitio. Para aumentar el éxito de captura, sería necesario contar con una herramienta que permita atrapar abejorros a la altura de las copas de los árboles ya que, en el caso particular de este trabajo, muchas de las especies en flor visitadas por los abejorros durante los muestreos eran árboles de más de dos metros de altura (por ejemplo, ciruelos, manzanos y arrayanes). Por otro lado, el hecho de no haber reencontrado reinas marcadas en ninguno de los muestreos podría deberse a distintas razones: o bien las mismas rápidamente hallaron un lugar para nidificar y se mantuvieron dentro del mismo, o el esmalte de uñas con el que se las marcó afectó su supervivencia. Si bien se realizaron observaciones inmediatas en las que se comprobó que las reinas tenían la capacidad de volar y visitar flores con normalidad luego de ser marcadas, se desconoce si existe un efecto del esmalte que sea detrimental a largo plazo, por lo que este es un aspecto importante a poner a prueba en caso de repetir el experimento.

En la primera instancia del experimento, se buscó que cada sitio (y las transectas trazadas en cada uno) tuvieran cierta homogeneidad en cuanto a sus características del paisaje, de forma que todos sean lo más similares entre sí que fuera posible. Sin embargo, si bien los tratamientos fueron asignados a los sitios de manera aleatoria, cuando se analizó cuántas reinas se encontraron en la primera etapa, se observaron diferencias entre las transectas destinadas a los distintos tratamientos, teniendo en general más reinas en las transectas destinadas a la remoción que en las de control. Esto podría indicar que los abejorros no hacen un uso homogéneo del paisaje, por más que las características de los sitios sean muy similares entre sí. Por otro lado, en la primera etapa del experimento, la abundancia de flores mostró un efecto negativo en el número de reinas totales, sugiriendo que cuantas menos flores hay, más reinas se ven. Esto podría explicarse a partir de la fenología de las reinas, las cuales emergen de la hibernación cuando la floración no

comenzó aún, o a partir del hecho de que los abejorros suelen concentrarse alrededor de los recursos cuando éstos son escasos (Goulson 2010).

Además de analizar las diferencias entre la abundancia total de reinas encontradas entre los tratamientos, se analizó el número de reinas remanentes en cada caso. En principio, se esperaba que el número de reinas remanentes sea mayor en las transectas control, debido a que en ese tratamiento, todas las reinas atrapadas (luego de ser marcadas) eran liberadas de vuelta a la naturaleza, mientras que en el sitio de remoción, todas las reinas atrapadas eran removidas del lugar. Sin embargo, cuando se observa la abundancia de reinas remanentes en ambos tratamientos, se ve que no hay diferencias entre ellos. Esto podría estar indicando que la remoción, a medida que se fue llevando a cabo, fue emparejando el número de reinas totales de ambos tratamientos, removiendo el excedente de reinas que existía en las transectas de remoción (**Figuras 11 y 12**). Probablemente, con un éxito de captura más alto, se habría logrado disminuir en mayor medida la abundancia de reinas remanentes en las transectas de remoción, como se esperaba. No obstante, se puede considerar un buen indicio que, a partir de un escenario en el cual las transectas de remoción tenían más reinas que sus controles, se haya llegado a que las reinas remanentes fueran similares entre tratamientos, como resultado de remover ese excedente de reinas.

Considerando ahora a las obreras, se pudo observar que la abundancia de las mismas se ve fuertemente influenciada por la abundancia de flores: cuantas más flores hay, mayor es el número de obreras encontrado. Esto podría deberse a que las obreras se mueven en busca de recursos, muchas veces alejándose grandes distancias de sus nidos (Hagen et al. 2011), lo que implica que pudieron haber llegado a las transectas del experimento desde sitios más alejados, desde áreas por fuera de la superficie de estudio. Por otro lado, el número de obreras no se vio afectado por el tratamiento, ya que se encontró una abundancia similar entre transectas, lo cual también es consistente con el similar número de reinas remanentes entre tratamientos. Cuando se considera en el análisis el número de reinas remanentes de la primera etapa, se observa una tendencia negativa del tratamiento de remoción sobre la abundancia de obreras, sin embargo, no encontré evidencias estadísticas de este efecto ( $p > 0.5$ ).

La posible llegada de las obreras desde sitios más alejados y la alta abundancia de reinas que no pudieron ser atrapadas en las transectas donde se aplicó el tratamiento, indican que futuros experimentos de remoción deberían tener

en cuenta superficies mayores de intervención, métodos de captura más eficientes y la persistencia de la remoción en el tiempo, para evaluar si la intervención tiene un efecto a largo plazo en la abundancia de *B. terrestris*.

## Conclusiones finales

Como conclusión general, en esta tesis se abordan dos herramientas que pueden ser utilizadas en el estudio de la dinámica de una invasión biológica, siendo una de ellas (ciencia ciudadana) beneficiosa durante las primeras etapas de la invasión y durante el desarrollo la misma, ya que permite monitorear en vivo su avance, mientras que la otra herramienta (remoción), busca contribuir al control poblacional de la especie invasora una vez que la misma se establece en una región determinada.

El proyecto de ciencia ciudadana desarrollado para la presente tesis ha generado interés, entusiasmo y compromiso en los participantes, lo cual quedó demostrado en el constante envío de registros y las consultas realizadas en búsqueda del conocimiento y el cuidado de los abejorros. El proyecto continúa en la actualidad, y ha reunido una gran cantidad de registros provenientes de todas las provincias del país. El conjunto de los registros que cuenten con las coordenadas geográficas del avistamiento y una foto del ejemplar visto, con el tiempo, resultará valioso para estudiar y responder preguntas acerca de la distribución de las distintas especies, como puede ser monitorear tanto el avance de una invasión como la retracción o movimiento de especies nativas. Esto último resulta, además, novedoso, ya que la información bibliográfica de especies nativas como *B. baeri*, *B. opifex*, *B. tucumanus* y *B. brasiliensis* es muy escasa.

Los datos provistos por el proyecto de ciencia ciudadana, que se iba desarrollando en paralelo a la remoción de reinas de *B. terrestris*, fueron de utilidad durante el periodo de muestreo. Se obtuvieron registros tanto de reinas como de obreras de dicha especie durante toda la temporada, lo cual ayudó a monitorear su presencia a medida que se iba avanzando con la remoción. Además, a pesar de que durante los muestreos no se haya avistado personalmente la especie *B. dahlbomii*, sí se recibieron reportes de avistamientos de reinas de esta especie tanto en la zona del Lago Gutiérrez como en el Parque Municipal Llao Llao, a pocos metros de las transectas donde se estaba llevando a cabo el proyecto de remoción. Sin embargo,

dado que estos reportes fueron escasos y aislados, no sería correcto vincularlos al experimento de remoción, pero al menos sirven para confirmar que los sitios seleccionados para llevar a cabo el experimento resultaron adecuados, ya que la especie nativa se encuentra ahí y, en caso de haber llevado a cabo una remoción exitosa, dichos sitios habrían resultado útiles para estudiar la respuesta de la especie nativa.

Tanto durante los muestreos como durante el desarrollo del proyecto de ciencia ciudadana, se evidenció la alta abundancia de la especie *B. terrestris* no sólo en cercanías a la ciudad de Bariloche, sino en toda la Patagonia, mostrando una distribución mucho más amplia que la del abejorro nativo *B. dahlbomii*, el cual se encuentra más limitado a la región cordillerana. En cuanto al objetivo que buscaba evaluar la remoción de reinas como una estrategia de control poblacional de *B. terrestris*, se puede concluir que los esfuerzos de remover de forma manual y a escala local a una especie tan abundante, difícilmente logrará una disminución significativa de su abundancia. De hecho, aún si fuera exitoso a escala local, este esfuerzo se vería contrarrestado y superado por el ingreso de esta especie a la naturaleza, causado principalmente por la continua importación de colonias de *B. terrestris* para la polinización de cultivos al aire libre, lo cual favorece su dispersión hacia nuevos lugares.

Como conclusión final, el uso de dos metodologías de investigación diferentes para abordar distintos aspectos de un mismo fenómeno puede ser útil para tener una visión más amplia de lo que dicho fenómeno representa. Dada la escala de la invasión de *B. terrestris*, resulta importante contar tanto con herramientas que permitan una detección temprana de su avance, como estrategias para su control una vez que la especie se establece en un nuevo hábitat. Para esto, la articulación entre la ciencia ciudadana y la remoción a escala local pueden funcionar en conjunto, haciendo partícipe al público de la detección del avance de la invasión, y de una eventual remoción de la especie a mayor escala.

# Anexo

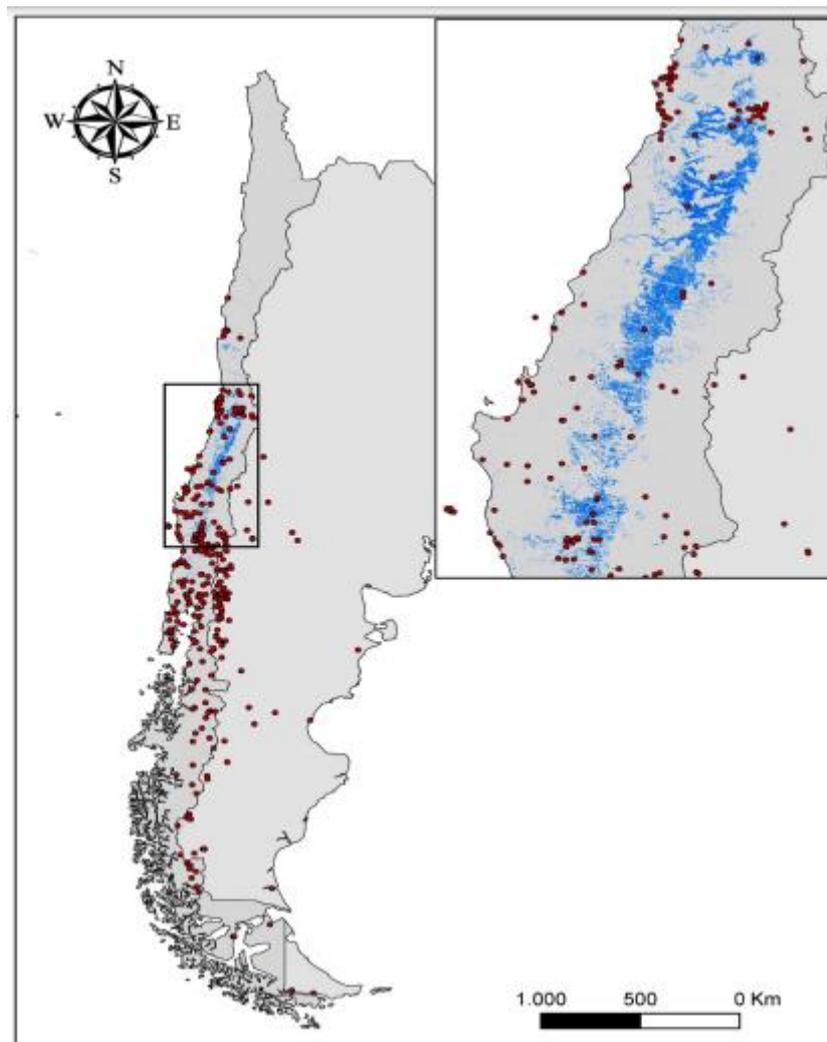
## Parte 1: Ciencia ciudadana

Redes sociales utilizadas por el público para registrar a las distintas especies de *Bombus*

**Tabla A1: Número de registros de cada especie enviados por el público a través de los distintos medios.**

	Google Forms	Instagram	Whatsapp	Facebook	Telegram	Twitter	Total
<b>B. negro</b>	235	75	32	0	0	4	346
<b>B. terrestris</b>	112	72	70	4	4	0	262
<b>B. dahlbomii</b>	161	37	25	5	5	0	233
<b>B. ruderatus</b>	44	2	1	0	0	0	47
<b>B. bellicosus</b>	10	11	7	0	0	0	28
<b>B. opifex</b>	9	5	1	0	0	0	15
<b>B. tucumanus</b>	5	1	2	0	0	0	8
<b>B. brasiliensis</b>	1	0	1	0	0	0	2
<b>B. baeri</b>	2	0	0	0	0	0	2

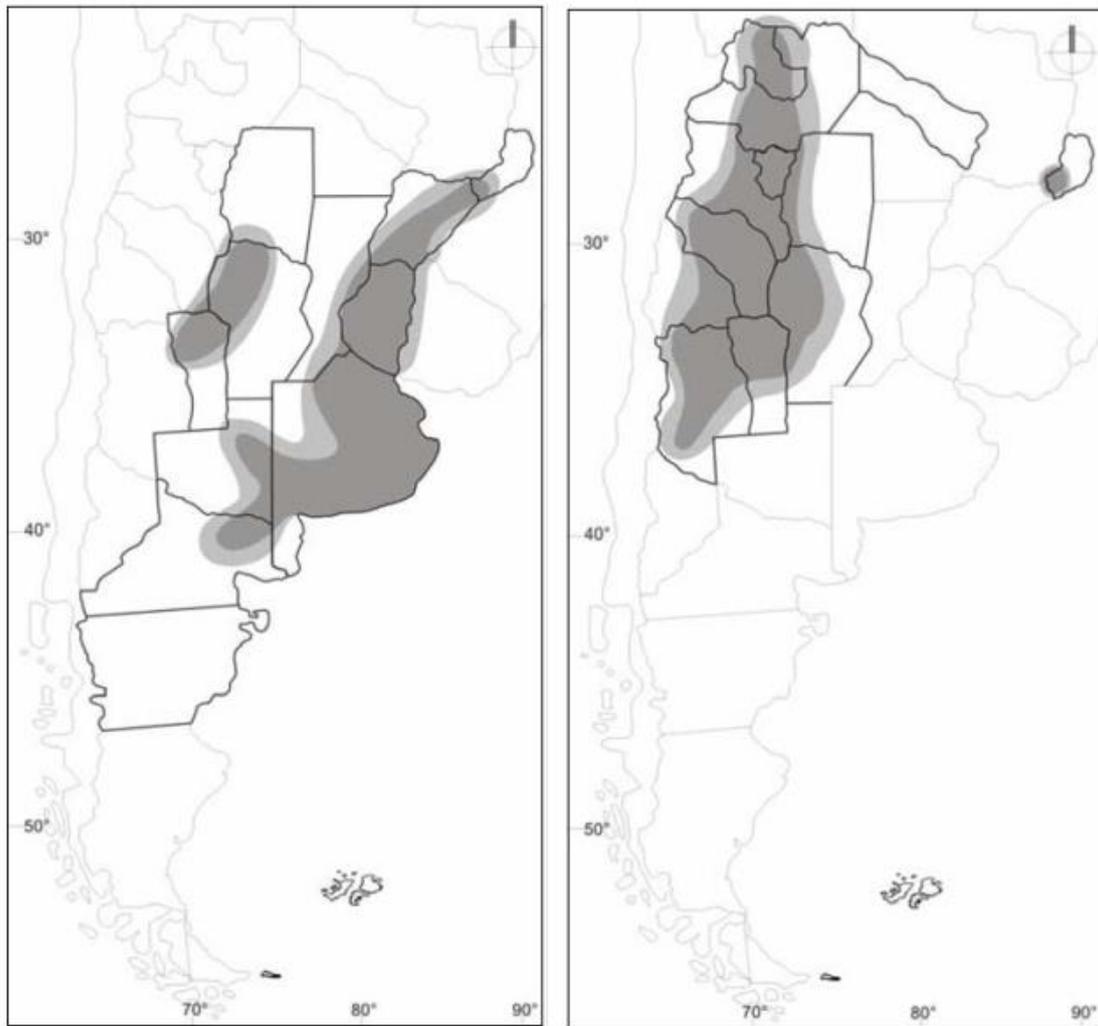
Mapas de distribución de las especies de *Bombus* realizados por trabajos previos, referenciados en este escrito.



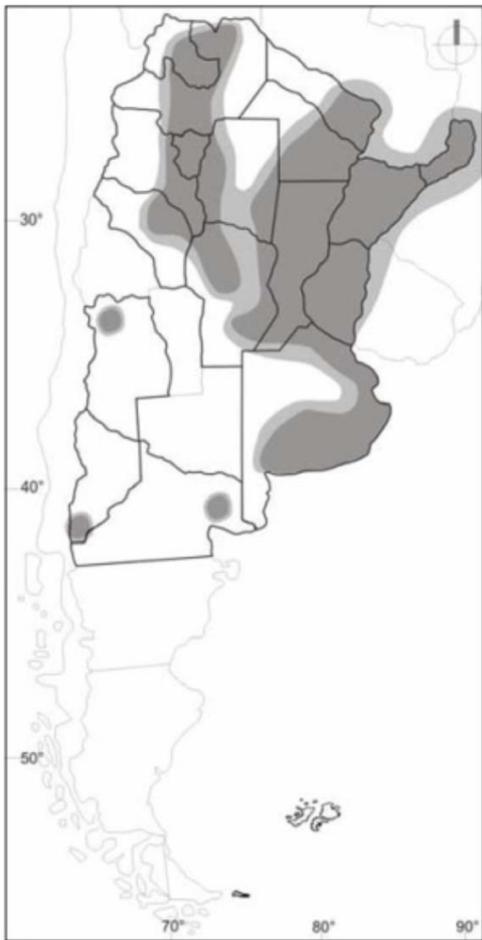
**Mapa M1** para la distribución de *B. terrestris*, extraído del trabajo de Fontúrbel y colaboradores (2021). El mismo puede hallarse en el Material Suplementario de dicho trabajo, en el link: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-94898-8>



**Mapa M2** para la distribución de *B. dahlbomii*, extraído de Morales y colaboradores (2022). El mismo puede hallarse en el Material Suplementario de dicho trabajo, en el link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10841-022-00384-5>.



**Mapa M3** (izquierda) mostrando la distribución de *B. bellicosus* y **Mapa M4** (derecha) mostrando la distribución de *B. opifex*. Ambos mapas fueron extraídos del trabajo de Abrahamovich y colaboradores (2007), <http://revista-vieja.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/105>.



**Mapa M5** (izquierda) con la distribución de *B. pauloensis* (o "*B. atratus*") y **Mapa M6** (derecha) con la de *B. morio*, extraídos de Abramovich y colaboradores (2007).

## Parte 2: Proyecto de remoción de reinas de *B. terrestris*.

Resultados de los análisis estadísticos del experimento de remoción de reinas de *B. terrestris*.

### Modelo 1

Evaluación de la abundancia de reinas totales relacionada al tratamiento y la abundancia de flores, con el sitio como factor aleatorio.

**Tabla A2: Resumen del Modelo 1**

	<b>Estimador</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Valor Z</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>Intercept</b>	2.12259	0.68421	3.102	0.00192 **
<b>Tratamiento remoción</b>	0.88627	0.39859	2.223	0.02618 *
<b>Abundancia de flores</b>	-0.10144	0.04967	-2.042	0.04113 *

**Tabla A3: Anova del Modelo 1**

	<b>Chisq</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Pr(&gt;Chisq)</b>
<b>Intercept</b>	9.6240	1	0.001921 **
<b>Tratamiento</b>	4.9439	1	0.026183 *
<b>Abundancia de flores</b>	4.1707	1	0.041129 *

### Modelo 2

Evaluación de la abundancia de reinas remanentes en la primera etapa, relacionada al tratamiento y a la abundancia de flores, con el sitio como factor aleatorio.

**Tabla A4: Resumen del Modelo 2**

	<b>Estimador</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Valor Z</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>Intercept</b>	2.12521	0.68922	3.084	0.00205 **
<b>Tratamiento remoción</b>	0.47897	0.38647	1.239	0.21521
<b>Abundancia</b>	-0.10417	0.04879	-2.135	0.03274

de flores				
-----------	--	--	--	--

**Tabla A5: Anova del Modelo 2**

	Chisq	Grados de libertad	Pr(>Chisq)
Intercept	9.5081	1	0.002046 **
Tratamiento	1.5360	1	0.215213
Abundancia de flores	4.5592	1	0.032741 *

### Modelo 3

Evaluación de la abundancia de obreras relacionada al tratamiento y la abundancia de flores, con el sitio como factor aleatorio.

**Tabla A6: Resumen del Modelo 3**

	Estimador	Error estándar	Valor Z	Pr(> z )
Intercept	-0.20160	0.81191	-0.248	0.804
Tratamiento remoción	0.54711	0.36192	1.512	0.131
Abundancia de flores	0.21258	0.05439	3.908	9.3e-05 ***

**Tabla A7: Anova del Modelo 3**

	Chisq	Grados de libertad	Pr(>Chisq)
Intercept	0.0617	1	0.8039
Tratamiento	2.2852	1	0.1306
Abundancia de flores	15.2745	1	9.296e-05 ***

### Modelo 4

Evaluación de la influencia de las reinas remanentes en la abundancia de obreras.

**Tabla A8: Resumen del Modelo 4**

	<b>Estimador</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Valor Z</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>Intercept</b>	0.75001	0.89710	0.836	0.403
<b>Tratamiento remoción</b>	-0.50534	1.16609	-0.433	0.665
<b>Abundancia de flores</b>	0.16471	0.03465	4.753	2e-06 ***

**Tabla A9: Anova del Modelo 4**

	<b>Chisq</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Pr(&gt;Chisq)</b>
<b>Intercept</b>	0.6990	1	0.4031
<b>Tratamiento</b>	0.1878	1	0.6648
<b>Abundancia de flores</b>	22.5928	1	2.002e-06***

# Bibliografía

- Abrahamovich, A H, N B Díaz, y M Lucia. 2007. «Identificación de las “abejas sociales” del género *Bombus* (Hymenoptera, Apidae) presentes en la Argentina: clave pictórica, diagnosis, distribución geográfica y asociaciones florales», 12.
- Abrahamovich, Alberto H., Norma B. Díaz, y Mariano Lucia. 2005. «Las especies del género *Bombus* Latreille en Argentina (Hymenoptera: Apidae): estudio taxonómico y claves para su identificación». *Neotropical Entomology* 34 (2).  
<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000200012>.
- Aizen, Marcelo A., Cecilia Smith- Ramírez, Carolina L. Morales, Lorena Vieli, Agustín Sáez, Rodrigo M. Barahona- Segovia, Marina P. Arbetman, et al. 2019. «Coordinated Species Importation Policies Are Needed to Reduce Serious Invasions Globally: The Case of Alien Bumblebees in South America». Editado por Romina Rader. *Journal of Applied Ecology* 56 (1): 100-106. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13121>.
- Arbetman, Marina P., Ivan Meeus, Carolina L. Morales, Marcelo A. Aizen, y Guy Smagghe. 2013. «Alien Parasite Hitchhikes to Patagonia on Invasive Bumblebee». *Biological Invasions* 15 (3): 489-94. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0311-0>.
- Arretz, P. V., y R. P. Macfarlane. 1986. «The Introduction of *Bombus Ruderatus* to Chile for Red Clover Pollination». *Bee World* 67 (1): 15-22.  
<https://doi.org/10.1080/0005772X.1986.11098855>.
- Bates, Douglas, Martin Mächler, Ben Bolker, y Steve Walker. 2015. «Fitting Linear Mixed-Effects Models Using Lme4». *Journal of Statistical Software* 67 (octubre): 1-48.  
<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
- Bila Dubaić, J, J Lanner, C Rohrbach, H Meimberg, F Wyatt, M Čačija, M Galešić, et al. 2022. «Towards a Real-Time Tracking of an Expanding Alien Bee Species in Southeast Europe through Citizen Science and Floral Host Monitoring». *Environmental Research Communications* 4 (8): 085001.  
<https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac8398>.
- Bonney, Rick, Caren B. Cooper, Janis Dickinson, Steve Kelling, Tina Phillips, Kenneth V. Rosenberg, y Jennifer Shirk. 2009. «Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy». *BioScience* 59 (11): 977-84.  
<https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>.
- Bonney, Rick, Tina B. Phillips, Heidi L. Ballard, y Jody W. Enck. 2016. «Can Citizen Science Enhance Public Understanding of Science?». *Public Understanding of Science* 25 (1): 2-16. <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>.
- Bradshaw, Ben. 2003. «Questioning the Credibility and Capacity of Community-Based Resource Management». *The Canadian Geographer/Le G?Ographe Canadien* 47 (2): 137-50. <https://doi.org/10.1111/1541-0064.t01-1-00001>.
- Brandon, Alice, Greg Spyreas, Brenda Molano-Flores, Connie Carroll, y James Ellis. 2003. «Can volunteers provide reliable data for forest vegetation surveys?». *Natural Areas Journal* 23 (3): 254-61.
- Brook, B, N Sodhi, y C Bradshaw. 2008. «Synergies among Extinction Drivers under Global Change». *Trends in Ecology & Evolution* 23 (8): 453-60.  
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.011>.
- Chalcoff, V. R., Y. Sasal, L. E. Graham, D. P. Vázquez, y C. L. Morales. 2022. «Invasive Bumble Bee Disrupts a Pollination Mutualism over Space and Time». *Biological Invasions* 24 (5): 1439-52. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02729-2>.
- Chandler, David, Emily Cooper, y Gill Prince. 2019. «Are There Risks to Wild European Bumble Bees from Using Commercial Stocks of Domesticated *Bombus Terrestris* for Crop Pollination?». *Journal of Apicultural Research* 58 (5): 665-81.  
<https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1637238>.
- Cohn, Jeffrey P. 2008. «Citizen Science: Can Volunteers Do Real Research?». *BioScience* 58 (3): 192-97. <https://doi.org/10.1641/B580303>.

- Conrad, Cathy C., y Krista G. Hilchey. 2011. «A Review of Citizen Science and Community-Based Environmental Monitoring: Issues and Opportunities». *Environmental Monitoring and Assessment* 176 (1-4): 273-91. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>.
- Cooper, Caren B., Janis Dickinson, Tina Phillips, y Rick Bonney. 2007. «Citizen Science as a Tool for Conservation in Residential Ecosystems». *Ecology and Society* 12 (2): art11. <https://doi.org/10.5751/ES-02197-120211>.
- Dafni, Amots, Peter Kevan, Caroline L. Gross, y Koichi Goka. 2010. «Bombus Terrestris, Pollinator, Invasive and Pest: An Assessment of Problems Associated with Its Widespread Introductions for Commercial Purposes». *Applied Entomology and Zoology* 45 (1): 101-13. <https://doi.org/10.1303/aez.2010.101>.
- Danielsen, Finn, Neil D. Burgess, y Andrew Balmford. 2005. «Monitoring Matters: Examining the Potential of Locally-Based Approaches». *Biodiversity and Conservation* 14 (11): 2507-42. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-8375-0>.
- Deutsch, Camila, David Bilenca, y Gabriela Agostini. 2017. «In Search of the Horned Frog (Ceratophrys Ornata) in Argentina: Complementing Field Surveys with Citizen Science». *Herpetological Conservation and Biology*.
- Díaz, Sandra, Josef Settele, y Eduardo Brondízio. 2019. «Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services». 2019. [https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/spm\\_unedited\\_advance\\_for\\_posting\\_htn.pdf](https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/spm_unedited_advance_for_posting_htn.pdf).
- Dickinson, Janis L., Benjamin Zuckerberg, y David N. Bonter. 2010. «Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 4: 149-72.
- Domínguez, Marisol, Rocío Lapido, Adrián Gorrindo, Diego Archuby, Emilio Correa, Fabián Llanos, Fabricio Reales, et al. 2021. «A Citizen Science Survey Discloses the Current Distribution of the Endangered Yellow Cardinal Gubernatrix Cristata in Argentina». *Bird Conservation International* 31 (1): 139-50. <https://doi.org/10.1017/S0959270920000155>.
- Domroese, Margret C., y Elizabeth A. Johnson. 2017. «Why Watch Bees? Motivations of Citizen Science Volunteers in the Great Pollinator Project». *Biological Conservation* 208 (abril): 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.020>.
- Eitzel, M V, Jessica L Cappadonna, Chris Santos-Lang, Ruth Ellen Duerr, Arika Virapongse, Sarah Elizabeth West, Christopher Conrad Maximillian Kyba, et al. 2017. «Citizen Science Terminology Matters: Exploring Key Terms». *Citizen Science: Theory and Practice* 2 (1): 1. <https://doi.org/10.5334/cstp.96>.
- Encarnação, João, Maria Alexandra Teodósio, y Pedro Morais. 2021. «Citizen Science and Biological Invasions: A Review». *Frontiers in Environmental Science* 8 (enero): 602980. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.602980>.
- Fontúrbel, Francisco E., Maureen M. Murúa, y Lorena Vieli. 2021. «Invasion Dynamics of the European Bumblebee Bombus Terrestris in the Southern Part of South America». *Scientific Reports* 11 (1): 15306. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94898-8>.
- Genet, Kristen S., y Lori G. Sargent. 2006. «Evaluation of Methods and Data Quality from a Volunteer-Based Amphibian Call Survey». *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* 31 (3): 703-14.
- Geslin, Benoît, y Carolina L. Morales. 2015. «New Records Reveal Rapid Geographic Expansion of Bombus Terrestris Linnaeus, 1758 (Hymenoptera: Apidae), an Invasive Species in Argentina». *Check List* 11 (3): 1620. <https://doi.org/10.15560/11.3.1620>.
- Goulson, D., G.C. Lye, y B. Darvill. 2008. «Decline and Conservation of Bumble Bees». *Annual Review of Entomology* 53 (1): 191-208. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093454>.
- Goulson, Dave. 2003. «Effects of Introduced Bees on Native Ecosystems». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (1): 1-26.

- <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132355>.
- Goulson, Dave. 2010. *Bumblebees: Behaviour, Ecology, and Conservation*. 2nd ed. Oxford Biology. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Goulson, Dave. 2013. «REVIEW: An Overview of the Environmental Risks Posed by Neonicotinoid Insecticides». Editado por David Kleijn. *Journal of Applied Ecology* 50 (4): 977-87. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12111>.
- Gouveia, Cristina, Alexandra Fonseca, António Câmara, y Francisco Ferreira. 2004. «Promoting the Use of Environmental Data Collected by Concerned Citizens through Information and Communication Technologies». *Journal of Environmental Management* 71 (2): 135-54. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.01.009>.
- Guérin-Méneville, F.-É. 1835. *Iconographie du règne animal de G. Cuvier, ou, Représentation d'après nature de l'une des espèces les plus et souvent non encore figurées de chaque genre d'animaux : avec un texte descriptif mis au courant de la science : ouvrage pouvant servir d'atlas a tous les traites de zoologie*. Paris: Chez J.B. Baillière. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.10331>.
- Hagen, Melanie, Martin Wikelski, y W. Daniel Kissling. 2011. «Space Use of Bumblebees (*Bombus* Spp.) Revealed by Radio-Tracking». Editado por Nigel E. Raine. *PLoS ONE* 6 (5): e19997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019997>.
- Heinrich, Bernd. 1979. «Bumblebee Economics», 287.
- Hingston, Andrew B., Jon Marsden-Smedley, Don A. Driscoll, Sib Corbett, Janet Fenton, Rachel Anderson, Cathie Plowman, et al. 2002. «Extent of Invasion of Tasmanian Native Vegetation by the Exotic Bumblebee *Bombus Terrestris* (Apoidea: Apidae)». *Austral Ecology* 27 (2): 162-72. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2002.01179.x>.
- Hui, Cang, y David M. Richardson. 2017. *Invasion Dynamics*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198745334.001.0001>.
- Inoue, Maki N., Jun Yokoyama, y Izumi Washitani. 2008. «Displacement of Japanese Native Bumblebees by the Recently Introduced *Bombus Terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae)». *Journal of Insect Conservation* 12 (2): 135-46. <https://doi.org/10.1007/s10841-007-9071-z>.
- Kojima, N. 2006. «Collaborating with volunteer citizens to the exclusion of an invasive alien bumblebee *Bombus terrestris*.» *Japanese Journal of Conservation Ecology* 11 (1): 61-69.
- Kosmala, Margaret, Andrea Wiggins, Alexandra Swanson, y Brooke Simmons. 2016. «Assessing Data Quality in Citizen Science». *Frontiers in Ecology and the Environment* 14 (10): 551-60. <https://doi.org/10.1002/fee.1436>.
- Kraus, F. Bernhard, H. Szentgyörgyi, E. Rozej, M. Rhode, D. Morón, M. Woyciechowski, y R. F. A. Moritz. 2011. «Greenhouse Bumblebees (*Bombus Terrestris*) Spread Their Genes into the Wild». *Conservation Genetics* 12 (1): 187-92. <https://doi.org/10.1007/s10592-010-0131-7>.
- Lecocq, Thomas, Pierre Rasmont, Alexander Harpke, y Oliver Schweiger. 2016. «Improving International Trade Regulation by Considering Intraspecific Variation for Invasion Risk Assessment of Commercially Traded Species: The *Bombus Terrestris* Case: Subspecies-Based Invasion Risk Assessment». *Conservation Letters* 9 (4): 281-89. <https://doi.org/10.1111/conl.12215>.
- Lenth, Russell V. 2016. «Least-Squares Means: The R Package Lsmeans». *Journal of Statistical Software* 69 (enero): 1-33. <https://doi.org/10.18637/jss.v069.i01>.
- Lepelletier. 1836. «Histoire naturelle des insectes. Hyménoptères». Librairie Encyclopédique de Roret,. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.9005>.
- Liberatore, Andrea, Erin Bowkett, Catriona J. MacLeod, Eric Spurr, y Nancy Longnecker. 2018. «Social Media as a Platform for a Citizen Science Community of Practice». *Citizen Science: Theory and Practice* 3 (1): 3. <https://doi.org/10.5334/cstp.108>.
- Lopes, Natalia Pirani Ghilardi, y Eduardo Enrique Zattara, eds. 2022. *Ciencia ciudadana y polinizadores de América del Sur*. Editora Cubo. <https://doi.org/10.4322/978-65-86819-21-2.100001.es>.
- Lucía, Mariano. 2011. «Estudio biosistemático de las abejas de la tribu Xylocopini

- (Hymenoptera: apidae) de interés agronómico en Argentina». Doctor en Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/5337>.
- Mack, Richard N, Daniel Simberloff, W Mark Lonsdale, Harry Evans, Michael Clout, y Fakhri A Bazzaz. 2000. «BIOTIC INVASIONS: CAUSES, EPIDEMIOLOGY, GLOBAL CONSEQUENCES, AND CONTROL». *Ecological Applications* 10 (3): 22.
- Macphail, Victoria J. 2021. «ASSESSING THE BENEFITS, CHALLENGES, AND SCIENTIFIC VALUE OF COMMUNITY SCIENCE PROGRAMS: A CASE STUDY USING BUMBLE BEE WATCH», 369.
- MacPhail, Victoria J., y Sheila R. Colla. 2020. «Power of the People: A Review of Citizen Science Programs for Conservation». *Biological Conservation* 249 (septiembre): 108739. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108739>.
- Makinson, James C., Joseph L. Woodgate, Andy Reynolds, Elizabeth A. Capaldi, Clint J. Perry, y Lars Chittka. 2019. «Harmonic Radar Tracking Reveals Random Dispersal Pattern of Bumblebee (*Bombus Terrestris*) Queens after Hibernation». *Scientific Reports* 9 (1): 4651. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40355-6>.
- Martins, Aline C., y Gabriel A. R. Melo. 2010. «Has the Bumblebee *Bombus Bellicosus* Gone Extinct in the Northern Portion of Its Distribution Range in Brazil?» *Journal of Insect Conservation* 14 (2): 207-10. <https://doi.org/10.1007/s10841-009-9237-y>.
- Montalva, José. 2013. «La difícil situación del abejorro más austral del mundo (*Bombus dahlbomii* Guérin-Méneville, 1835)». *Biological Invasions* 15 (3): 489-94. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0311-0>.
- Montalva, José, Leah Dudley, Mary Kalin Arroyo, Hernán Retamales, y Alberto H Abrahamovich. 2011. «Geographic Distribution and Associated Flora of Native and Introduced Bumble Bees (*Bombus* Spp.) in Chile». *Journal of Apicultural Research* 50 (1): 11-21. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.50.1.02>.
- Morales, Carolina L. 2007. «Introducción de abejorros (*Bombus*) no nativos: causas, consecuencias ecológicas y perspectivas». *Ecología Austral*, 16.
- Morales, Carolina L, y Marcelo A Aizen. 2002. «Does Invasion of Exotic Plants Promote Invasion of Exotic Flower Visitors? A Case Study from the Temperate Forests of the Southern Andes», 14.
- Morales, Carolina L., y Marcelo A. Aizen. 2006. «Invasive Mutualisms and the Structure of Plant-Pollinator Interactions in the Temperate Forests of North-West Patagonia, Argentina». *Journal of Ecology* 94 (1): 171-80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01069.x>.
- Morales, Carolina L, Marina P Arbetman, Sydney A Cameron, y Marcelo A Aizen. 2013. «Rapid Ecological Replacement of a Native Bumble Bee by Invasive Species». *Frontiers in Ecology and the Environment* 11 (10): 529-34. <https://doi.org/10.1890/120321>.
- Morales, Carolina L., Jose Montalva, Marina P. Arbetman, Marcelo A. Aizen, Aline C. Martins, y Daniel Paiva Silva. 2022. «Does Climate Change Influence the Current and Future Projected Distribution of an Endangered Species? The Case of the Southernmost Bumblebee in the World». *Journal of Insect Conservation* 26 (2): 257-69. <https://doi.org/10.1007/s10841-022-00384-5>.
- Morales, C., Montalva, J., Arbetman, M., Aizen, M.A., Smith-Ramírez, C., Vieli, L. & Hatfield, R. 2016. *Bombus dahlbomii*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016: e.T21215142A100240441.
- Nagamitsu, Teruyoshi, Hiroki Yamagishi, Tanaka Kenta, Naoki Inari, y Etsushi Kato. 2010. «Competitive Effects of the Exotic *Bombus Terrestris* on Native Bumble Bees Revealed by a Field Removal Experiment». *Population Ecology* 52 (1): 123-36. <https://doi.org/10.1007/s10144-009-0151-7>.
- Pocock, Michael J.O., Helen E. Roy, Richard Fox, Willem N. Ellis, y Marc Botham. 2017. «Citizen Science and Invasive Alien Species: Predicting the Detection of the Oak Processionary Moth *Thaumetopoea Processionea* by Moth Recorders». *Biological Conservation* 208 (abril): 146-54. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.010>.
- Pyšek, Petr, y David M. Richardson. 2010. «Invasive Species, Environmental Change and

- Management, and Health». *Annual Review of Environment and Resources* 35 (1): 25-55. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-033009-095548>.
- Ricciardi, Anthony. 2007. «Are Modern Biological Invasions an Unprecedented Form of Global Change?» *Conservation Biology* 21 (2): 329-36. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00615.x>.
- Riesch, Hauke, y Clive Potter. 2014. «Citizen Science as Seen by Scientists: Methodological, Epistemological and Ethical Dimensions». *Public Understanding of Science* 23 (1): 107-20. <https://doi.org/10.1177/0963662513497324>.
- Roig-Alsina, Arturo, y Marcelo Aizen. 1996. «Roig Alsina & Aizen, 1996. *Bombus ruderatus* Fabricius un nuevo *bombus*.pdf».
- Schmid-Hempel, Regula, Michael Eckhardt, David Goulson, Daniel Heinzmann, Carlos Lange, Santiago Plischuk, Luisa R. Escudero, Rahel Salathé, Jessica J. Scriven, y Paul Schmid-Hempel. 2014. «The Invasion of Southern South America by Imported Bumblebees and Associated Parasites». Editado por Mike Boots. *Journal of Animal Ecology* 83 (4): 823-37. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12185>.
- Simberloff, Daniel. 2013. *Invasive Species: What Everyone Needs to Know*. Oxford University Press.
- Smith, Frederick. 1879. *Descriptions of New Species of Hymenoptera in the Collection of the British Museum*. order of the Trustees.
- Steffan-Dewenter, Ingolf, Ute Münzenberg, Christof Bürger, Carsten Thies, y Teja Tscharntke. 2002. «SCALE-DEPENDENT EFFECTS OF LANDSCAPE CONTEXT ON THREE POLLINATOR GUILDS». *Ecology* 83 (5): 1421-32. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[1421:SDEOLC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1421:SDEOLC]2.0.CO;2).
- Stout, Jane C., Andrea R. Kells, y Dave Goulson. 2002. «Pollination of the Invasive Exotic Shrub *Lupinus arboreus* (Fabaceae) by Introduced Bees in Tasmania». *Biological Conservation* 106 (3): 425-34. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00046-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00046-0).
- Stout, Jane C., y Carolina L. Morales. 2009. «Ecological impacts of invasive alien species on bees». *Apidologie* 40 (3): 388-409. <https://doi.org/10.1051/apido/2009023>.
- Thomson, Diane M. 2006. «Detecting the Effects of Introduced Species: A Case Study of Competition between *Apis* and *Bombus*». *Oikos* 114 (3): 407-18. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14604.x>.
- Torretta, Juan P., Diego Medan, y Alberto H. Abrahamovich. 2006. «First Record of the Invasive Bumblebee *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera, Apidae) in Argentina». *Transactions of the American Entomological Society* 132 (3): 285-89. [https://doi.org/10.3157/0002-8320\(2006\)132\[285:FROTIB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3157/0002-8320(2006)132[285:FROTIB]2.0.CO;2).
- Tylianakis, Jason M., Raphael K. Didham, Jordi Bascompte, y David A. Wardle. 2008. «Global Change and Species Interactions in Terrestrial Ecosystems». *Ecology Letters* 11 (12): 1351-63. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01250.x>.
- Velozo, Lucia E. 2013. Programa de apoyo a la competitividad de la horticultura de Corrientes. Tomate: Polinización entomófila. Consejo Federal de Inversiones, Corrientes.
- Velthuis, Hayo H.W., y Adriaan van Doorn. 2006. «A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination». *Apidologie* 37 (4): 421-51. <https://doi.org/10.1051/apido:2006019>.
- Walker, Brian, y Will Steffen. 1997. «An Overview of the Implications of Global Change for Natural and Managed Terrestrial Ecosystems». *Conservation Ecology* 1 (2): art2. <https://doi.org/10.5751/ES-00028-010202>.
- Werenkraut, Victoria, Florencia Baudino, y Helen E. Roy. 2020. «Citizen Science Reveals the Distribution of the Invasive Harlequin Ladybird (*Harmonia axyridis* Pallas) in Argentina». *Biological Invasions* 22 (10): 2915-21. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02312-7>.
- Williams, Paul H., y Juliet L. Osborne. 2009. «Bumblebee vulnerability and conservation world-wide». *Apidologie* 40 (3): 367-87. <https://doi.org/10.1051/apido/2009025>.
- Winfree, Rachael, Ramiro Aguilar, Diego P. Vázquez, Gretchen LeBuhn, y Marcelo A. Aizen. 2009. «A Meta-Analysis of Bees' Responses to Anthropogenic Disturbance».

- Ecology* 90 (8): 2068-76. <https://doi.org/10.1890/08-1245.1>.
- Yang, E. C., Y. C. Chuang, Y. L. Chen, y L. H. Chang. 2008. «Abnormal Foraging Behavior Induced by Sublethal Dosage of Imidacloprid in the Honey Bee (Hymenoptera: Apidae)». *Journal of Economic Entomology* 101 (6): 1743-48. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-101.6.1743>.
- Zattara, Eduardo E., y Marcelo A. Aizen. 2021. «Worldwide Occurrence Records Suggest a Global Decline in Bee Species Richness». *One Earth* 4 (1): 114-23. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.12.005>.

# Agradecimientos

A mis directoras, Maru y Caro, por su guía, motivación, paciencia y buena predisposición durante el eterno desarrollo de este trabajo.

Maru me abrió las puertas de su laboratorio desde que yo era una simple estudiante de segundo año, me enseñó todo lo que sé sobre qué es y cómo funciona la investigación, y me hizo (y continúa haciendo) un lugarcito en cada proyecto que surge. Gracias por confiar en mí.

A mi familia. Mi mamá, por acompañarme, aguantarme y tenerme fe en todo siempre. Mi papá, por su apoyo y paciencia. Juanma, el mejor compañero del planeta, y fan n°1 de Vi Un Abejorro.

Mis amigos. Agus, porque me contagió el amor por la montaña y la biología, y sin la cual yo no estaría escribiendo esta tesis. Lican, por su infinita ayuda y paciencia, y junto con Meli, Joaco, Guido y Gonza, por ser las mejores personas que podría haber soñado para compartir este camino, sin ustedes nada habría sido lo mismo. Jose, por ser la mejor compañera y amiga para estudiar abejorros.

A Parques Nacionales (Nahuel Huapi, Lanín, Lago Puelo y Los Alerces), Circuito Verde, La Reserva del Hombre y la Biosfera Andino NorPatagónica y el Club de Observadores de Aves de Villa La Angostura por impulsar la difusión y el crecimiento de Vi Un Abejorro organizando charlas, entrevistas y encuentros presenciales a la comunidad. A Mohamed bin Zayed Species Conservation Fund (<https://www.speciesconservation.org/>) por el respaldo económico para llevar adelante el proyecto.

A todos los ayudantes de campo que dedicaron su tiempo a ayudarme a atrapar *B. terrestris* de la naturaleza durante más de seis meses.

A la Universidad Nacional del Comahue y al sistema público de educación superior de Argentina, que me dio la oportunidad de completar esta carrera de excelente nivel académico de forma gratuita.