

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Comunicación y Artes Contemporáneas**

**Evolución de diseños basados en la naturaleza: diseño de  
un juguete didáctico para entender a las arañas**  
Proyecto de Investigación y desarrollo

**Mauricio Alejandro Vega Pérez**

**Diseño Comunicacional**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Licenciado en Diseño Comunicacional

Quito, 12 de mayo de 2016

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**COLEGIO DE COMUNICACIÓN Y ARTES**  
**CONTEMPORÁNEAS**

**HOJA DE CALIFICACIÓN**  
**DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Evolución de diseños basados en la naturaleza: diseño de un juguete  
didáctico para entender a las arañas**

**Mauricio Alejandro Vega Pérez**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Christine Klein , M.A.

Firma del profesor

---

Quito, 12 de mayo de 2016

## **Derechos de Autor**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Mauricio Alejandro Vega Pérez

Código: 00113992

Cédula de Identidad: 1716385404

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2016

## **DEDICATORIA**

*A aquellos seres que volvieron a cautivar mi atención,  
demostrándome el lugar al que pertenezco en realidad.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres y hermano, quienes me apoyaron en esta nueva aventura.

A M. Belén, porque su compañía me llevó a vivir nuevas aventuras y cumplir sueños dentro de esta nueva etapa.

A mi familia por su apoyo constante.

A mis amigos que creyeron en mí, y me apoyaron incondicionalmente.

A todos a quienes puede conocer durante este tiempo, y de quienes aprendo cada día.

Al destino, por llevarme cada vez por nuevos caminos.

## RESUMEN

La naturaleza ha sido siempre una importante fuente de inspiración para el nacimiento de nuevas soluciones técnicas y expresivas donde los artistas y diseñadores pueden fácilmente encontrar nuevas posibilidades al cambiar la manera en que observan y entienden a la naturaleza. Decodificar la complejidad del principio biológico, los instrumentos cognitivos de la biología molecular y los conceptos evolutivos permiten proponer a la cultura del diseño una nueva estrategia de expresión y de producción. La investigación llevada a cabo permitió desarrollar una metodología aplicable para el diseño inspirado en la naturaleza; posibilitando una apreciación de la forma mucho más cercana a la realidad, que se aleja de una reproducción superficial. Obteniendo una forma de trabajo basada en métodos científicos fácilmente aplicables a las diferentes ramas dentro del diseño. En una aproximación práctica a esta metodología se planteó desarrollar un sistema inspirado en la naturaleza que permita a sus usuarios aprender aspectos importantes relacionados con el organismo modelo. Se determinó diseñar un juguete de ensamblaje educativo inspirado en una araña viuda negra, con la intención de educar y concientizar a las personas sobre el rol e importancia de estos organismos en su ecosistema incentivando a la conservación del medio ambiente donde habitan. Adicionalmente, el sistema incluye una aplicación móvil que complementa la experiencia de juego. Los estudios en diseño pueden tomar los vínculos entre ciencia y tecnología expandiendo su temática de investigación e integrar conocimientos de diferentes campos para enfrentar diferentes requerimientos. La naturaleza posee varias respuestas a los problemas de diseño actuales, y a través de entender el lenguaje visual evolutivo de las formas orgánicas es posible desencadenar un reconocimiento instintivo e intuitivo de la naturaleza en una forma completamente nueva y diferente a la representación visual de la información, forjando un enlace emocional entre la sociedad humana y la naturaleza.

*Palabras clave:* juguete, araña, viuda negra, latrodectus, naturaleza, diseño, ensamblaje, evolución, 3D.

## ABSTRACT

Nature has been an important source for inspiration leading to the development of innovative technical and expressive solutions where artists and designer find new possibilities only when they observe and understand nature in a different way. Deciphering the complexity of the biological principle, the cognitive tools of molecular biology and the evolutionary concepts allow proposing to the culture of design a new expression and production strategies. The investigation carried out to develop a methodology applicable for a design inspired in nature, enabling to appreciate its form in a more realistic approach, far away from a superficial reproduction. Creating a workflow based on scientific methodology easily enough to apply to the different areas inside design. In a tangible approach to this workflow I developed a system inspired in nature that allows users to learn key aspects related to a model organism. The design of an educational assembly toy based on a black widow was stated, with the intention to educate people and raise awareness about the role and importance of the organisms to its ecosystem, and to encourage the conservation of the habitats. Additionally, the system has a mobile app that complements the game experience. Design studies can tie links between science and technology expanding their investigation subjects by integrating knowledge from different fields. Nature can hold the answers to different modern design problems, and by understanding the evolutionary visual languages of organic forms it is possible to unchain an instinctive and intuitive exploration of nature in a new different direction aside from the formal visual representation, creating an emotional link between society and nature.

*Key words:* toy, spider, black widow, latrodectus, nature, design, assembly, evolution, 3D.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	11
Inspiración natural.....	12
Zonas ecológicas y biodiversidad .....	12
Sujetos de estudios .....	15
Arácnidos. ....	16
Lenguaje visual natural .....	20
La naturaleza y sus formas .....	20
Diseño y naturaleza .....	21
Principios de diseño de la naturaleza. ....	22
Elementos y principios universales de diseño. ....	23
Biomimesis como proceso de diseño .....	24
Diseño evolutivo .....	27
Análisis formal .....	28
Metodología de análisis.....	30
Análisis de los sujetos de estudio.....	32
Latrodectus. ....	32
Anelosimus.....	47
Maratus.....	57
Evolución de formas.....	66
El objeto y sistema .....	69
Diseño del juguete .....	70
Análisis morfológico-geométrico.....	71
Diseño de piezas del juguete. ....	73
Diseño de la aplicación .....	76
Diseño de marca .....	84
Diseño de empaque .....	85
Plan comercial .....	88
Validación del juguete.....	93
Conclusiones .....	95
Referencias bibliográficas .....	97
Anexo A: Código en R para estadísticos del color.....	102



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas ecológicas del Ecuador (Modificado de Dangles & Nowicki, 2010). .....	13
Figura 2. Especies del género <i>Latrodectus</i> (Theridiidae).....	18
Figura 3. Especies del género <i>Anelosimus</i> y formaciones de sus nidos (Theridiidae).....	19
Figura 4. Individuos de la familia Salticidae (Adrián Gonzales. Felipe Campos).....	20
Figura 5. Principios de diseño en la naturaleza y universales de diseño (McKosky, 2012). ...	26
Figura 6. Imágenes de distintas especies del género <i>Latrodectus</i> utilizadas en el análisis. ....	32
Figura 7. Se indica la posición de base del motivo en <i>Latrodectus</i> . .....	33
Figura 8. Filogenia del género <i>Latrodectus</i> (Tomado de Garb, 2004).....	34
Figura 9. Motivo y malla para <i>L. geometricus</i> con módulos. ....	35
Figura 10. Motivos y mallas dentro del género <i>Latrodectus</i> ( <i>L. tredecimguttatus</i> , <i>L. hasseltii</i> , <i>L. pallidus</i> , <i>L. katipo</i> ). .....	37
Figura 11. Motivos y mallas dentro del género <i>Latrodectus</i> ( <i>L. bishopii</i> , <i>L. variolus</i> , <i>L.</i> <i>hesperus</i> , <i>L. mactans</i> ). .....	38
Figura 12. Motivos y mallas dentro del género <i>Latrodectus</i> ( <i>L. antheratus</i> , <i>L. cucaraviensis</i> , <i>L. toracicus</i> , <i>L. miriabilis</i> ). .....	39
Figura 13. Imágenes del motivo aislado en <i>Latrodectus</i> . .....	40
Figura 14. Histogramas de HSV y RGB para diferentes especies de <i>Latrodectus</i> .....	41
Figura 15. Histogramas de HSV y RGB para diferentes especies de <i>Latrodectus</i> .....	42
Figura 16. Histogramas de HSV y RGB para diferentes especies de <i>Latrodectus</i> .....	43
Figura 17. Paletas de color para <i>Latrodectus</i> . .....	44
Figura 18. Filogenia y motivos en <i>Latrodectus</i> mostrando la relación entre especies.....	46
Figura 19. Especies del género <i>Anelosimus</i> (Agnarsson, 2006; Agnarsson, 2012).....	48
Figura 20. Base del motivo en <i>Anelosimus</i> .....	49
Figura 21. Filogenia del género <i>Anelosimus</i> (Tomado de Agnarsson, 2012).....	50
Figura 22. Motivo y malla para <i>A. luckyi</i> . con módulos. ....	51
Figura 23. Motivos y mallas dentro del género <i>Anelosimus</i> .....	53
Figura 24. Imágenes del motivo aislado en <i>Anelosimus</i> .....	54
Figura 25. Histogramas de HSV y RGB para <i>Anelosimus</i> . .....	54
Figura 27. Paletas de color para <i>Anelosimus</i> . .....	55
Figura 28. Filogenia y motivos en <i>Anelosimus</i> mostrando la relación entre especies.....	56
Figura 29. Especies del género <i>Maratus</i> (Otto & Hill, 2011; Otto & Hill, 2012).....	57
Figura 30. Base del motivo en <i>Maratus</i> .....	58
Figura 31. Motivo y malla para <i>M. pavonis</i> . .....	59
Figura 32. Motivos y mallas dentro del género <i>Maratus literatus</i> .....	61
Figura 33. Imágenes del motivo aislado en <i>Maratus</i> .....	62
Figura 34. Histogramas de HSV y RGB para <i>Maratus</i> . .....	63
Figura 35. Paletas de color para <i>Maratus</i> . .....	64
Figura 36. Filogenia y motivos en <i>Maratus</i> mostrando la relación entre especies.....	65
Figura 37. Arañas viuda negra hembra utilizadas para análisis morfológico. ....	72
Figura 38. Resultado del análisis morfológico-geométrico. ....	73
Figura 39. Bocetos a lápiz de las piezas del juguete, separadas por partes anatómicas.....	74
Figura 40. Bocetos lápiz de las uniones de los segmentos de las patas. ....	75
Figura 41. Visualización 3D del juguete y de las piezas que lo conforman. ....	75
Figura 42. Piezas impresas mediante impresora 3D. ....	76

Figura 43. Aplicaciones de referencia para visualización de contenidos.....	77
Figura 44. Mapa de flujo de la sección de juego dentro de la aplicación. ....	79
Figura 45. Wireframes de las diferentes pantallas de la aplicación. ....	80
Figura 46. Moodboard de referencia para definir el look&feel de la aplicación. ....	81
Figura 47. Diseño final de las pantallas que conforman la aplicación. ....	82
Figura 48. Iconos de Material Design por Google (CC-BY) utilizados en la aplicación. ....	83
Figura 49. Pantallas de la aplicación con información sobre cómo conseguir el juguete.....	84
Figura 50. Logotipo del juguete, y sus variantes cromáticas. ....	85
Figura 51. Referencias para el diseño de empaque basado en la naturaleza.....	86
Figura 52. Troquel del empaque para el juguete, y visualización 3D de su forma. ....	87
Figura 53. Visualización 3D del diseño del empaque.....	88
Figura 54. Diseño de landing page para el juguete y su sistema.....	91
Figura 55. Montaje de plataformas en línea para la venta del juguete.....	92
Figura 56. Montajes de plataformas para la descarga de la aplicación. ....	93

## INTRODUCCIÓN

La naturaleza ha sido siempre una importante fuente de inspiración para el nacimiento de nuevas soluciones técnicas y expresivas (Rezza, 2009). Donde los artistas y diseñadores pueden fácilmente encontrar nuevas posibilidades al cambiar la manera en que observan y entienden a la naturaleza; buscando detalles, texturas y patrones, en vez de enfocarse en los objetos como tal (Dangles & Nowicki, 2010). El color, el ritmo y la simetría de los elementos naturales han causado siempre una admiración debido a su armonía; y toma como referente la teoría de la Gestalt, la influencia de las formas equilibradas causan alivio y distensión en la psicología del observador (Rezza, 2009).

El diseño para la sociedad es una disciplina creativa global de matriz artística y poética; una de las formas de arte más típicas de la época que estamos viviendo. Se lo puede definir como el punto de encuentro entre las visiones de la región industrial, la emoción estética y la racionalidad funcional (Rezza, 2009). En la naturaleza, el diseño corresponde al proceso de evolución, que da como resultado toda la diversidad de formas y colores que podemos observar dentro de ciertos límites. Por este motivo, podemos decir que el concepto de diseño biológico puede ser análogo al concepto de diseño tradicional (Nachtigall, 1994).

El modelo de la naturaleza con su forma, estructura y principio organizativo, constituye un referente en la forma y en la función, que durante la historia humana, ha caracterizado siempre al diseño, la arquitectura, el arte, la fotografía y a la búsqueda científica (Rezza, 2009). Decodificar la complejidad del principio biológico, los instrumentos cognitivos de la biología molecular y los conceptos evolutivos permiten proponer a la cultura del diseño una nueva estrategia de expresión y de producción (Langella, 2007), a través la cual podemos encajar de mejor manera en un ambiente natural (Stowell, 2012).

## INSPIRACIÓN NATURAL

Mirando hacia nuestro pasado, hacia aquellas culturas que habitaron antes de nosotros, nos detenemos a observar lo que el tiempo ha conservado de su ingenio; tenemos pruebas suficientes para corroborar sobre la importancia de la naturaleza como una fuente invaluable de inspiración. Actualmente, tanto artistas, escritores e investigadores consideran a la naturaleza, y en especial a los trópicos, como un espacio tanto estético como científico (Dangles & Nowicki, 2010); y es que la magia de los bosques tropicales comprende un mundo para las sofisticaciones biológicas (Bustamante & Cárdenas, 2007), un mundo de bellezas, las cuales se vuelven evidentes solo con la paciencia, el conocimiento y el deseo de observar.

### **Zonas ecológicas y biodiversidad**

Muchos de los fenómenos físicos como la temperatura, la lluvia y los patrones de los vientos poseen condiciones variables que cambian a lo largo de un gradiente altitudinal. Es por ello que nuestro planeta puede ser entendido como un complejo arreglo de bandas climáticas, las cuales están delimitadas por la altura a la que se encuentran (Dangles & Nowicki, 2010).

Los altos y bajos formados por la cadena montañosa de los Andes, con sus picos nevados, pendientes escarpadas, profundos cañones y valles apartados; produjeron las barreras físicas necesarias que llevaron a la evolución de una sorprendente diversidad de ecosistemas y hábitats con una extraordinaria heterogeneidad de climas y suelos (Dangles et al., 2009; Dangles & Nowicki, 2010). Este abanico de condiciones naturales posee un efecto directo sobre el tipo de vegetación presente en cada piso climático, definiendo de esa manera distintas zonas ecológicas (Figura 1). Por lo tanto y a breves rasgos, el territorio ecuatoriano

está dividido en cuatro regiones naturales: los glaciares, los páramos, los bosques montanos y las tierras bajas (Dangles et al., 2009).

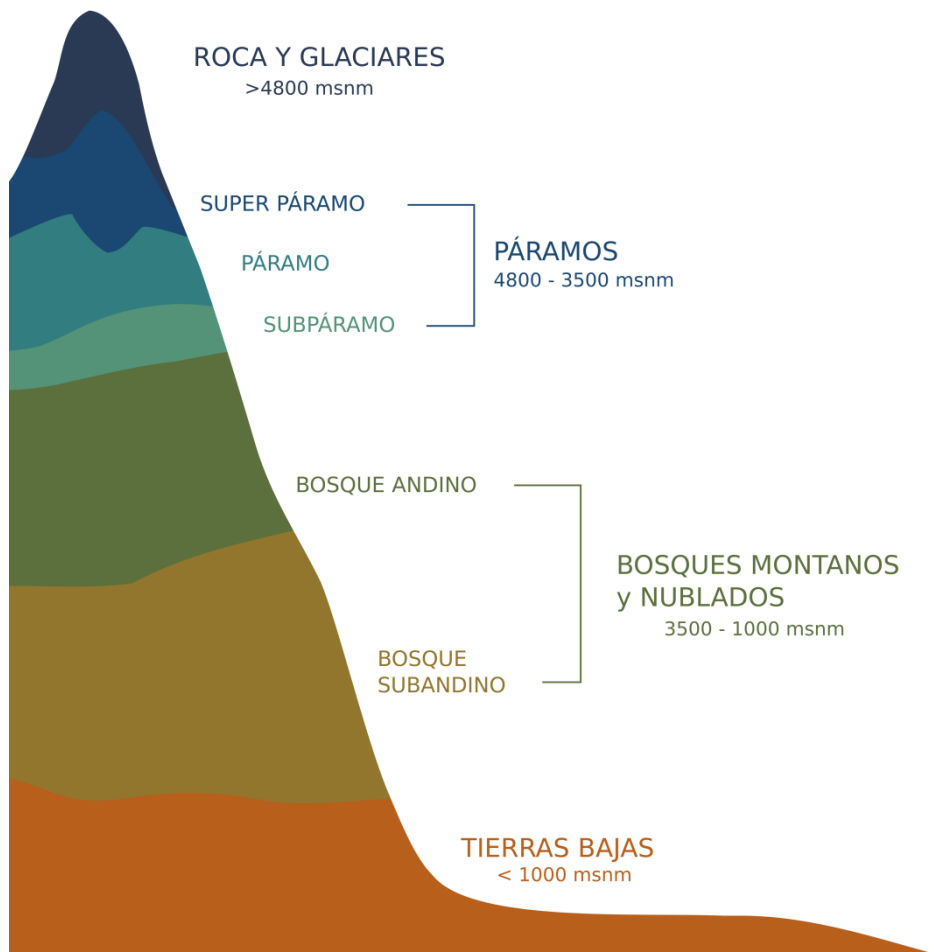


Figura 1. Zonas ecológicas del Ecuador (Modificado de Dangles & Nowicki, 2010).

La roca y los glaciares (por encima de los 4800m), comprenden un espacio donde la vida se limita a pequeños invertebrados que se alimentan de algas y bacterias que crecen en la nieve y el hielo. Pocas son las plantas y animales que son capaces de sobrevivir en estos hábitats inhóspitos; y a pesar de estas duras condiciones, las montañas ecuatorianas albergan alrededor de 1500 especies de plantas, que constituye el 10% del total de la flora presente en el país (Dangles & Nowicki, 2010).

Los páramos (entre los 4800 y 3500m) están constituidos por una vegetación tropical

alpina, formando un cinturón discontinuo que se extiende desde el norte de Perú hasta Venezuela. Este espacio alberga especies de flora y fauna muy singulares, muchas de las cuales no se encuentran en ninguna otra región alta del mundo (Dangles & Nowicki, 2010).

Los bosques montanos y nublados (entre los 3500 y 1000m) se encuentran envueltos en una densa neblina proveniente de la humedad que se eleva de las zonas bajas. Esta región es rica en especies de orquídeas, bromelias, aves y ranas, cuya diversidad alcanza un máximo en estas altitudes. Sin embargo, el área de estos bosques ha declinado en un 90% en las últimas décadas, con tan solo un 10% restante protegido a través de reservas naturales (Dangles & Nowicki, 2010).

Las tierras bajas (a menos de 1000m) se componen de una inmensa variedad de ecosistemas con una biodiversidad sorprendente. La Costa posee un gradiente anual de precipitación, mientras que la Región Amazónica se caracteriza por temperaturas cálidas y constantes lluvias (Dangles & Nowicki, 2010). Dentro de estos hábitats es posible encontrar otra variedad de microclimas, como bosques secos, pantanos y desiertos.

Por otra parte, la diversidad de especies presentes en cada zona ecológica se encuentra en directa relación con las historias climáticas y tectónicas producidas por el levantamiento de los Andes (Dangles & Nowicki, 2010). Es por ello que generalmente se asume que la riqueza de especies, de la mayoría de grupos de organismos, decrece desde las tierras bajas hasta las altitudes más elevadas (Dangles & Nowicki, 2010). Sin embargo, para comprender los orígenes de los patrones de biodiversidad que se observan, es necesario entender los procesos ecológicos y evolutivos que ocurrieron a diversas escalas de espacio y tiempo, así como las interacciones ecológicas entre los diferentes organismos (Dangles & Nowicki, 2010).

Tomando en cuenta la diversidad de hábitats, ambientes y organismos, es posible

considerar a estos ecosistemas mencionados como la más generosa expresión de la vida, debido a que todavía guardan niveles de belleza, complejidad y abundancia que nos cuesta entender (Bustamante & Cárdenas, 2007). Además, si le sumamos la pequeña porción de área donde ocurren, hacen del Ecuador una locación ideal para el estudio de la biodiversidad y ecología de diversos grupos de organismos como plantas, aves, mamíferos y artrópodos (Dangles et al., 2009).

### **Sujetos de estudios**

La mayoría de personas, por lo general, se sienten más identificadas o atraídas hacia distintas especies de plantas o vertebrados; sin embargo, tememos a todo bicho que por desconocimiento o que a simple vista no posee una forma agradable, e inmediatamente tendemos a considerarlo como un peligro potencial (Aisenberg et al., 2011). Son estos los sentimientos que a menudo despiertan los artrópodos (animales invertebrados con patas articuladas) y que los hacen ser los menos favoritos entre el público. Bajo una mirada ecológica, en cambio, estas criaturas juegan un papel importante en la biodiversidad, al contribuir con casi el 97% de la riqueza global de especies (Dangles & Nowicki, 2010); razón por lo cual el naturalista Edward O. Wilson los denomina como “las pequeñas cosas que hacen andar al mundo”, ya que si en algún momento desaparecieran, la vida en el planeta colapsaría (Bustamante & Cárdenas, 2007).

Por otra parte, los artrópodos siempre han tenido una importancia considerable para la especie humana, ya sea como fuente de alimento, polinizadores, fuentes de pigmentos, medicinas, o símbolos de inmortalidad y fortuna (Beverley & Ponsonby, 2003). Indagando en nuestra historia, observamos como las culturas prehispánicas poseían un conocimiento extenso de estos organismos, y los incorporaron en su mitología, arte, cocina y geografía (Barragán et al., 2009). Por ejemplo, motivos de insectos fueron utilizados en diferentes

piezas de cerámica como decoración, lo cual nos cuenta que estas criaturas estaban involucradas en la vida diaria de los diferentes pueblos que habitaron en nuestro continente (Barragán et al., 2009). Así mismo, algunos insectos ocuparon un rol importante dentro de su cosmovisión, al considerarlos como encarnaciones terrestres de las fuerzas divinas de la naturaleza (Barragán et al., 2009).

Los artrópodos ocupan una posición respetable a distintos niveles tanto en la naturaleza como dentro de nuestra realidad humana; y aunque para la mayoría de personas pueden parecer criaturas insignificantes sin mayor gracia o trascendencia; no olvidemos que, en palabras del astrónomo Martin Rees, “lo que hace que las cosas sean deslumbrantes es su grado de complejidad, no su tamaño en sí” (Bustamante & Cárdenas, 2007).

### **Arácnidos.**

Dentro de estas deslumbrantes criaturas podemos encontrar a las arañas; las cuales generalmente son mal clasificadas como “insectos”, y aunque se encuentran dentro el mismo filo (Arthropoda), en general comparten más características, como sus ocho patas, con los escorpiones y los ácaros; y es por ello que se les agrupa dentro la clase Arachnida (Beverley & Ponsonby, 2003). Estos organismos habitan en una gran variedad de ecosistemas y se los puede encontrar en distintos ambientes como el suelo, el aire, e incluso bajo el agua (Brunetta & Craig, 2012).

Las arañas se clasifican evolutivamente en dos grandes grupos: Mygalomorphae, que comprende a las arañas con características ancestrales conocidas como tarántulas por su gran tamaño; y un segundo grupo Araneomorphae, al cual pertenecen la mayoría de las arañas que observamos diariamente (Foelix, 2010). Adicionalmente, es posible dividir a las arañas mediante el tipo de método que utilizan para capturar a sus presas. Así se distinguen a las



arañas tejedoras de telas aéreas, que elaboran telas geométricas o irregulares para interceptar insectos. Un segundo grupo incluye a las arañas no tejedoras, que se subdivide en arañas emboscadoras, que acechan a sus presas desde un mismo lugar y poseen coloraciones crípticas para no ser detectadas; y arañas cazadoras, las cuales buscan y persiguen activamente a sus presas por entre la vegetación y presentan sentidos del tacto y de la vista desarrollados (Aisenberg et al., 2011).

Desde tiempos inmemoriales, las arañas han sido objeto de la fascinación humana; y aunque comprenden un grupo muy diverso en número de especies, formas, colores y comportamientos únicos (Barth, 2002; Beverley & Ponsonby, 2003), son consideradas como un grupo homogéneo para la mirada poco entrenada (Aisenberg et al., 2011) donde toda esta maravillosa diversidad estética aún es poco conocida y apreciada (Bustamante & Cárdenas, 2007).

¿Pero cómo estos seres, que por lo general son temidos o causan repulsión, podrían competir con la belleza de las aves, la calidez de los mamíferos, o con la admiración que despiertan otros insectos como las mariposas o los escarabajos? Y es que en la naturaleza no hay objetos bellos, sino miradas bellas. Está dualidad a la cual están expuestas las arañas, temibles pero atractivas, despierta una curiosidad irrefrenable en quien se aventure a apreciarlas y conocerlas más de cerca (Aisenberg et al., 2011).

Prácticamente todas las especies de arañas son venenosas, debido a que presentan glándulas de veneno, el cual está constituido por enzimas cuya función es la de inmovilizar a su presa (Aisenberg et al., 2011). Sin embargo, solo unas 20 o 30 especies son peligrosas para los humanos, sin que el tamaño de la araña posea alguna relación con su toxicidad, por lo que las tarántulas a pesar de su gran tamaño son menos peligrosas de lo que comúnmente se piensa (Foelix, 2010). Uno de los ejemplos más conocidos de arañas peligrosas es la viuda

negra, perteneciente al género *Latrodectus* de la familia Theridiidae (Figura 2), cuyo veneno es de acción neurotóxica paralizando el sistema nervioso central y produciendo dolores musculares intensos (Clark, 2001; Navarrete et al., 2011). A estos síntomas se los conoce como latrodectismo, por lo que las especies de este género están entre las pocas arañas que causan mordidas de importancia médica (Foelix, 2010); sobre todo teniendo en cuenta que comúnmente se encuentran en áreas urbanas y en sus alrededores, y poseen una afinidad por los hábitats disturbados (Garb et al., 2004).

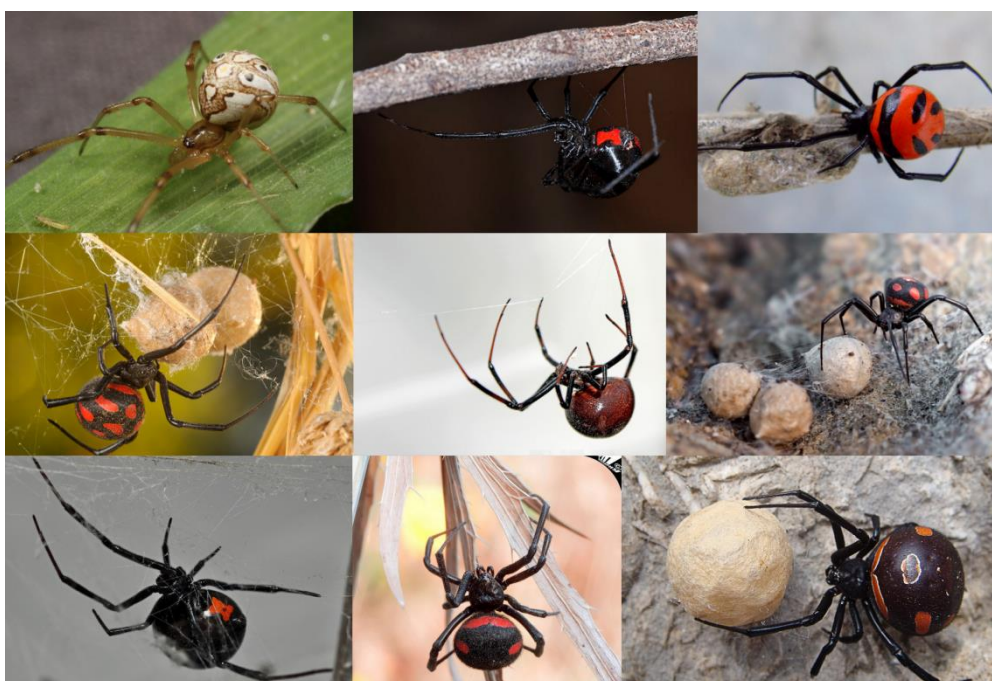


Figura 2. Especies del género *Latrodectus* (Theridiidae).

La mayoría conocemos que las arañas poseen una reputación de ser solitarias e intolerantes entre sí; sin embargo, la vida en grupos sociales se encuentra al menos en 20 especies de arañas (Foelix, 2010). Las arañas sociales presentan complejos comportamientos cooperativos, que van desde la agrupación de telas individuales hasta la formación de nidos colectivos que contienen decenas de miles de individuos (Avilés, 1997). Pero a diferencia de los insectos denominados verdaderamente sociales, tales como las abejas, hormigas y

termitas, las arañas no poseen castas reproductivas (Foelix, 2010). El género *Anelosimus* presenta el mayor número de especies sociales, dentro de los cuales se observan diferentes tipos de sociabilidad (Figura 3). Por su diversidad y abundancia, estas arañas ofrecen la oportunidad de investigar problemas evolutivos y ecológicos de interés general, como son la evolución de la socialidad, la selección de grupo y la dinámica de poblaciones locales (Avilés et al., 2001).



Figura 3. Especies del género *Anelosimus* y formaciones de sus nidos (*Theridiidae*).

Como humanos lo primero que pensamos al hablar de comunicación es en la visión. Pero en el caso de las arañas, a pesar de tener sus ocho ojos, solo llegan a ver muy poco; debido a que poseen ojos simples que se limitan a ver algunos movimientos (Barth, 2002). Sin embargo, como toda excepción a la regla, tenemos a las arañas saltadoras pertenecientes a la familia Salticidae (Figura 4). Estas pequeñas arañas son diurnas y cazan al salto, similar a como lo hacen los felinos (Foelix, 2010); ya que para cazar insectos voladores que tienen

buena visión, es necesario tener una mejor visión que su presa. Es así como este grupo de arañas pueden detectar colores y configuraciones inmóviles, superando en precisión incluso a algunos mamíferos (Aisenberg et al., 2011). Esta característica de la visión les ha permitido ser la familia de arañas más numerosa con más de 5700 especies (World Spider Catalog, 2015), que han evolucionado en fascinantes rangos de formas, tamaños y colores; además de poseer complejos comportamientos de apareamiento y estrategias de caza (Aisenberg et al., 2011).



*Figura 4. Individuos de la familia Salticidae (Adrián Gonzales. Felipe Campos).*

## LENGUAJE VISUAL NATURAL

### La naturaleza y sus formas

No es un secreto que como humanos consideramos a la naturaleza como hermosa, salvaje e intocable. Pero, ¿es posible apreciar algo que no entendemos totalmente, o tal vez existe una dependencia entre el entendimiento y la belleza? (Freij, 2010).

La palabra naturaleza posee diferentes significados, la utilizamos para referirnos al



exterior, al campo, o a lo silvestre donde habitan animales salvajes; también la utilizamos para referirnos a la esencia, la forma o manera de algo o alguien. Podemos considerar a la naturaleza como todo aquello a nuestro alrededor y que está auto-contenida, auto-organizada y coexiste en una sinergia que incluye toda las formas de vida en el planeta (Freij, 2010). En el sentido más fundamental, el termino naturaleza se refiere a todo lo que no es humano; es decir es opuesto a la cultura, la historia, el trabajo artificial, a todo aquello que define el grado de humanidad (Soper, 1995). Con toda esta diferencia de significados e interpretaciones, resulta difícil comprender lo que la naturaleza significa en realidad para el hombre moderno y definir qué clase de relación tenemos con ella.

Las formas en la naturaleza son tan irregulares y fragmentadas que exhiben un nivel totalmente diferente y alto de complejidad (Mandelbrot, 1982). Es debido a esto a que los sistemas en la naturaleza pueden parecer caóticos; sin embargo, es necesario fragmentar estos sistemas y organizar el caos para poder entenderlos y analizarlos (Freij, 2010). Al parecer tenemos una preferencia por la lógica, los opuestos, por la frecuencia de patrones, contrastes y mallas en las cuales vemos todo tipo de arte y diseño; lo que nos lleva a simplificar nuestras observaciones a través de la creación estereotipos en base a objetos naturales (Freij, 2010). Esta interpretación de las formas, mediante el estudio morfológico, busca entender como la conformación de un organismo se explica por la interacción o el balance de las fuerzas a las cuales estuvo expuesto; es decir, la forma es un diagrama del resultado de la acción de fuerzas o la simbolización de las manifestaciones de distintos tipos de energía (Thompson, 1945).

## **Diseño y naturaleza**

No hace mucho tiempo los diseñadores estudiaban arte, ciencia y religión con el objetivo de tratar de entender de manera básica como trabaja la naturaleza, para luego poder aplicar esos conocimientos en solventar los problemas del día a día (Lidwell et al., 2003).

El deseo de seguir a la naturaleza, de adherirse a sus formas en busca de armonía, puede rastrearse desde la antigüedad con los escritos de Vitruvius, o el trabajo de morfología de Goethe. Un análisis más cercano de la naturaleza llegó a su clímax a finales del siglo 19, con el estilo Art Nouveau en Francia, y todas sus variaciones en Europa; que coincide con el trabajo de naturalistas y pioneros de la biología como Charles Darwin, Alexander von Humbolt, Alfred Wallace o Ernst Haeckel, quienes meticulosamente describieron, nombraron e ilustraron miles de nuevas especies (Myers, 2012).

### **Principios de diseño de la naturaleza.**

El proceso de diseño en la naturaleza, al cual conocemos con el nombre de evolución, está representado mediante la selección natural, la cual puede ser resumida como el proceso por el cual características favorables se vuelven más predominantes en las generaciones sucesivas de un organismo (Wilson, 2008). En la naturaleza, los diseños que no puedan responder a las circunstancias cambiantes son eliminados rápidamente, ya sea por medio de la extinción o transformados en un periodo de tiempo a través de una respuesta adaptativa (Macnab, 2012). En esencia, el diseño en la naturaleza es un proceso que consiste en generar variabilidad para luego poder seleccionar las variantes que son más favorables (Wilson, 2008).

Fundamentalmente, la naturaleza es impulsada por la supervivencia del más apto, en donde la eficiencia de la energía juega un rol importante (Wilson, 2008). Debido a que las soluciones de diseño no buscan ganar o perder energía en el proceso de cambio, simplemente se reordenan, se ajustan para trabajar dentro de múltiples circunstancias, adaptándose continuamente a los recursos que se encuentran inmediatamente disponibles; si a esto le añadimos mutaciones al azar en la variación, obtenemos una receta para una posibilidad de configuraciones infinitas (Macnab, 2012). Hay que tomar en cuenta que el diseño en la

naturaleza depende del contexto del medio ambiente donde se genere; lo que significa que los sistemas evolucionan de manera diferente en distintos ambientes (Wilson, 2008).

### **Elementos y principios universales de diseño.**

El diseño se puede definir como el proceso de creación visual con un propósito dentro de los límites de unas exigencias prácticas (Wong, 1993). El lenguaje visual es la base de la creación del diseño a través la aplicación de elementos y principios referentes a la organización visual (Wong, 1993).

Los elementos del diseño determinan la apariencia definitiva y el contenido de un diseño. Se los puede agrupar en cuatro grupos: conceptuales, visuales, de relación y prácticos. Los elementos conceptuales no son visibles, son aproximaciones de la realidad; entre ellos tenemos el punto (indica posición), la línea (posee posición y dirección), el plano (posee movimiento) y el volumen (posee una posición espacial) (Wong, 1993). Los elementos visuales son una representación de los elementos conceptuales a través de la forma, medida (tamaño), color y textura. Estos elementos conforman la parte más prominente de un diseño (Wong, 1993). Los elementos de relación afectan la ubicación e interrelación de las formas en un diseño. Algunos pueden ser percibidos (posición, dirección) o ser sentidos (espacio, gravedad) (Wong, 1993). Finalmente, los elementos prácticos subyacen el contenido y el alcance de un diseño, a través de la representación, el significado y la función (Wong, 1993). Todos los elementos visuales constituyen el concepto de forma, y la manera en que es construida u organizada se denomina estructura, e incluye a los elementos de relación (Wong, 1993).

Los principios de diseño son conceptos que se utilizan para organizar estructuralmente los elementos visuales de un diseño. Estos principios son unidad, énfasis, proporción, balance

y ritmo. Un buen diseño está conformado por un conjunto de elementos organizados y relacionados entre sí, que conforman parte de un todo. La unidad significa la existencia de una congruencia o concordancia entre los distintos elementos de un diseño, asegurando un sentido de orden y por lo tanto de mejor apreciación. Así mismo, se debe obtener un buen balance entre unidad y variedad para evitar un diseño caótico o insulso (Lauer & Pentak, 2005). El énfasis dentro de un diseño se puede obtener a través de un punto focal, el cual puede atraer la atención y el interés de quien lo observa. Este elemento de interés generalmente se diferencia del resto mediante contraste, aislamiento o ubicación (Lauer & Pentak, 2005). Las relaciones de tamaño en un diseño son definidas por la proporción y la escala. La proporción se refiere a cómo los elementos dentro de un objeto se relacionan con el objeto en su totalidad. Estos términos hacen referencia al tamaño en relación con una referencia o contexto (Lauer & Pentak, 2005). El balance hace referencia al concepto de equilibrio visual, y se relaciona con nuestro sentido físico de balance. Visualmente se obtiene a través de la reconciliación de fuerzas opuestas que en la composición resultan en una estabilidad, la cual se puede conseguir a través de un balance simétrico o asimétrico (Lauer & Pentak, 2005). El ritmo otorga el recorrido visual alrededor de un objeto o espacio, proveyéndole de una mejor comprensión, respetando la armonía y jerarquía de cada uno de los elementos que conforman el diseño. El ritmo se crea con la repetición de elementos visuales como la línea, la forma, el color o la textura (Lauer & Pentak, 2005).

### **Biomimesis como proceso de diseño**

La naturaleza posee varias respuestas a los problemas de diseño actuales, y ofrece soluciones eficientes que pueden beneficiar tanto al consumidor como al ambiente (Stowell, 2012). Por lo que la naturaleza puede influenciar el diseño en varias maneras, mediante la utilización de procesos naturales como una ayuda, tomando el diseño de objetos naturales o



imitando los sistemas naturales (Stowell, 2012).

La Biomímesis es una disciplina relativamente nueva que estudia las ideas de la naturaleza y busca imitar sus diseños y procesos para resolver los problemas actuales; debido a que considera a la naturaleza como un diseñador maestro que ha desarrollado procesos que durante el tiempo continúan produciendo soluciones de diseño efectivas y atemporales. Se enfoca en encontrar las estructuras, procesos, estrategias y mecanismos que la naturaleza ha utilizado por billones de años y que pueden ser emulados y utilizados en el diseño actual (McKosky, 2012).

Sin embargo para emular la genialidad de la naturaleza y reflejarla en nuestro medio, debemos observar a la naturaleza en una forma completamente diferente. Para ello es indispensable abstraer los principios sobre los cuales la naturaleza diseña. Estos principios están presentes en todos los organismos en diferentes escalas y niveles, creando las condiciones necesarias para propiciar la vida en el planeta; además pueden ser aplicados a las diferentes etapas del proceso del diseño gráfico o de la comunicación visual (McKosky, 2012). En la figura 5 se demuestra la relación y reciprocidad entre los principios universales del diseño gráfico y los principios de diseño de la naturaleza, que constituyen el método indirecto de como la biomímesis diseña procesos, teorías y sistemas.

<b>Principios Universales de Diseño</b>	<b>Principios de Diseño en la Naturaleza</b>
Forma sigue a la función	Ser ingenioso
Imitación	Adaptarse a condiciones cambiantes
Auto semejanza	Organizar fractalmente
Simetría	Usar química básica
Uniformidad	Sistema = suma de sus partes
Convergencia	Fomentar las relaciones cooperativas
Retroalimentación	Hacer uso de la interdependencia
Ley de Hick	Residuos = Alimento
Jerarquía de necesidades	Ensamblar desde la base
Ciclo de vida	Evolucionar las soluciones
Procesamiento	Tecnologías apropiadas
5 formas de organizar información	Optimizar envés de maximizar
Modelo mental	Respetar la diversidad
Principio de parsimonia	No ensucies tu lugar

*Figura 5. Principios de diseño en la naturaleza y universales de diseño (McKosky, 2012).*

Para incorporar la biomímesis en el diseño gráfico es necesario que los diseñadores entiendan que el proceso no es simplemente mirar un organismo e imitar su forma, patrones o colores; es necesario ir más allá, analizando el sistema completo en el cual el organismo habita, las funciones que realiza, su historia natural, así como las formas y partes que permiten su supervivencia (McKosky, 2012). Es un proceso donde el diseñador define un problema funcional, busca un organismo o ecosistema que domine esa funcionalidad, para luego entablar un dialogo de cómo el diseño podría emular esa función o concepto, permitiendo así el desarrollo de diferentes soluciones (Jedlicka, 2010).

## **Diseño evolutivo**

Una de las teorías más influyentes que explica los orígenes de la diversidad de las formas que se observan actualmente apareció en el libro “El origen de las especies” a mediados del siglo diecinueve (Darwin, 1860). Esta teoría, la selección natural, explica el proceso por el cual las ventajas producidas por pequeñas variaciones en la morfología y función de un organismo poseen un gran efecto en las poblaciones con el paso del tiempo (Burt, 2013). Medio siglo después de esta publicación, los cromosomas fueron identificados como la vía mediante la cual las variaciones morfológicas son pasadas de una generación a otra (Morgan, 1915); debido a que están conformados por secuencias lineales de moléculas de ácido desoxirribonucleico o ADN. La diversidad morfológica que se observa en la naturaleza es la consecuencia de las variaciones en la disposición de estas moléculas (Burt, 2013).

Para la mayoría de personas la palabra evolución se refiere únicamente a la evolución biológica, cuya definición clásica es “cambios, durante varias generaciones, en las propiedades de las poblaciones de organismos, o grupo de poblaciones; consiste en descendencia con modificaciones, con diversificación del ancestro común” (Futuyma, 1998). Sin embargo, varios biólogos, ingenieros y filósofos prefieren definir a la evolución como un algoritmo neutro con tres condiciones: replicación, variación y selección; donde la evolución biológica es una de sus ejemplificaciones (Dawkins, 1983; Nowak, 2006). Observando el sinnúmero de diseños de los organismos del planeta que emergen en la naturaleza, es posible deducir que la evolución genera diseño, creando adaptaciones dentro de un ambiente; o en otras palabras, explora soluciones funcionales dentro de un contexto, de la misma manera que lo hacen los diseñadores humanos con productos comerciales (Onduygu, 2010).

Es posible trasladar los principios del algoritmo evolutivo al mundo digital, y utilizarlo para diseñar y producir soluciones de una manera óptima (Onduygu, 2010). Existen

varias ventajas al acercamiento evolutivo en el diseño, siendo el más importante que se consideran varias soluciones con lo cual existe una mayor probabilidad de encontrar mejores resultados; además la aplicación del concepto es muy simple, y es posible realizar una exploración heurística en situaciones donde no exista un conocimiento especializado o el conocimiento no puede ser descrito fácilmente (Onduygu, 2010; Fernando, 2014). Uno de los beneficios sobre el diseño digital tradicional es que permite un procesamiento simultáneo de información (Fernando, 2014); y es por ello que el diseño gráfico posee el potencial de ser un área muy fructífera en la investigación y aplicación de algoritmos evolutivos (Onduygu, 2010).

## **ANÁLISIS FORMAL**

Para el análisis formal de los sujetos de estudio se realizó una aproximación con base en las premisas de la Teoría de Diseño Natural (Theory of Design Naturally) (Kamehkhosh et al., 2013). La cual plantea ir más allá de los principios de la geometría y la estética del diseño tradicional, mediante la creación de un lenguaje estético basado en la complejidad real de las formas en la naturaleza aplicando los principios de diseño natural (Kamehkhosh et al., 2010).

Esta teoría plantea los siguientes principios:

- Ignorar los acercamientos geométricos y cuantitativos tradicionales hacia la naturaleza. Evitando ignorar así preceptos y expectativas tradicionales de encontrar orden y patrones en las formas. De esa manera el estudio de la naturaleza no está limitado a formas curvas, líneas o geométricas, sino más bien a todo tipo de formas con sus propiedades originales; es decir, hay que observar a la naturaleza tal como es.

- Cada fenómeno natural es considerado como un fenómeno con diseño, donde cada detalle es importante y posee un efecto directo sobre la forma final. Por lo tanto, es necesario considerar todos los detalles de las formas como partes creadas intencionalmente.
- La abstracción es inevitable, pero debe ser aplicada en menor grado para poder acercarse más a la realidad.
- El razonamiento geométrico será aplicado para analizar la acción de las fuerzas sobre las formas; sin embargo, no tendrá una aparente manifestación en las formas cuasi-naturales (formas que conservan la mayoría de propiedades originales que sus contrapartes naturales).
- La complejidad es la primera cualidad aparente. Las formas complejas no deben ser entendidas a través de la búsqueda y extracción de patrones u orden; en su lugar se plantea generar una definición clara y tangible sobre la lógica de dicha complejidad.
- Se toma a la Gestalt como la interacción de todos los elementos de la forma. En la naturaleza estos elementos se afectan unos a otros bilateralmente y su interacción constituyen la unidad del todo. Todos los elementos están expuestos a las fuerzas individuales de cada elemento, y de esa manera la forma final unificada aparece.
- La estética visual y los aspectos emocionales son las áreas más involucradas de la teoría formal.

La Teoría de Diseño Natural se puede considerar como un conjunto de apreciaciones de diseño que introducen una nueva manera de abordar la teoría de la

forma, proveyendo una infinidad de nuevas posibilidades creativas (Kamehkhosh et al., 2013).

### **Metodología de análisis**

La metodología de análisis morfológico y formal siguió las siguientes etapas:

1. Obtener referentes visuales de los sujetos de estudio dentro de un mismo grupo biológico, cubriendo la mayor diversidad posible.
2. Seleccionar el motivo a ser estudiado tomando en cuenta una relevancia biológica para el organismo. Definir la orientación del motivo, y determinar una base para el mismo.
3. Construir una malla básica tomando como partida un cuadrado de unidad uno, donde la base del motivo corresponderá con una de los lados del cuadrado. La construcción procederá a partir de la formación de rectángulos dinámicos y sus posibles subdivisiones armónicas o subdivisiones áureas.
4. Elegir una especie como representante del grupo biológico de estudio, y proceder a la reelaboración del motivo.
5. Extraer de la composición la estructura modular que conforma el motivo.
6. Seleccionar los módulos principales encontrados en el motivo.
7. Seleccionar las variaciones del motivo presentes en otras especies del mismo grupo biológico, tomando como punto de partida las relaciones evolutivas; cubriendo así la diversidad presente dentro del grupo.
8. Tomando como base la malla de la especie representativa, reelaborar las variaciones del motivo realizando operaciones morfométricas (traslación,

rotación, escala) para que la base del motivo coincida con la malla representativa.

9. Determinación de la posición de los módulos principales en cada una de las variaciones.
10. Tomar como referencia la posición de los módulos principales para proponer las operaciones modulares necesarias para recrear los diferentes motivos en las distintas especies.

La metodología de análisis de color siguió las siguientes etapas:

1. Obtener referentes visuales que representen la diversidad de color entre las distintas especies.
2. Estandarizar las imágenes bajo un mismo espacio de color.
3. Aislar y recortar el motivo en cada una de las especies.
4. Aplicar un contraste tonal fuerte para acentuar las diferencias entre los colores.
5. Obtener estadísticos descriptivos del color de la imagen a través de Image Color Summarizer (Krzywinski, 2015), los cuales permiten describir las características de color de una imagen. Para ello se escribió un código en lenguaje R (Anexo 1), el cual se conecta con el API de Image Color Summarize permitiendo obtener el promedio, la media, la moda, los mínimos y máximos de cada componente de RGB y HSV; los cuales permiten realizar gráficos de distribución y obtener una paleta de color para cada especie.

## Análisis de los sujetos de estudio

### **Latrodectus.**

#### ***Forma.***

Para el análisis se obtuvieron imágenes de 17 especies de viuda negra (Figura 6), tomando en cuenta la distribución que posee el género a nivel mundial (Garb, 2004). El género *Latrodectus* es fácilmente reconocible por poseer un cuerpo oscuro con patrones de colores brillantes presentes en el abdomen de los individuos. De entre estos, sobresale la forma ventral que se asemeja a un reloj de arena; la cual está asociada al comportamiento de advertencia hacia sus depredadores (Gburek, 2014).



*Figura 6. Imágenes de distintas especies del género Latrodectus utilizadas en el análisis.*

Al poseer este elemento relevancia para la biología del organismo, y además de poseer una alta plasticidad, se lo seleccionó como el motivo ideal para el análisis morfológico. Se consideró como base del motivo, al borde superior de la porción más cercana al surco epigástrico (Figura 7).



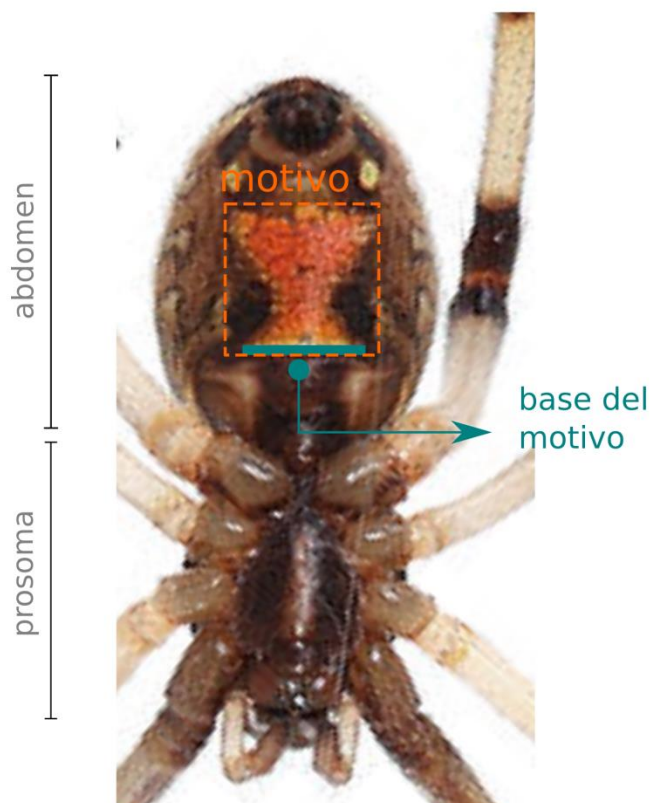


Figura 7. Se indica la posición de base del motivo en *Latrodectus*.

Dentro del género *Latrodectus* se tomó a la especie *L. geometricus* como representante, debido a su amplia distribución y consistencia en el motivo seleccionado; de la misma manera representa a un clado menos diverso dentro del género (Figura 8), por lo cual se puede asumir que presenta una condición ancestral (Garb, 2004).

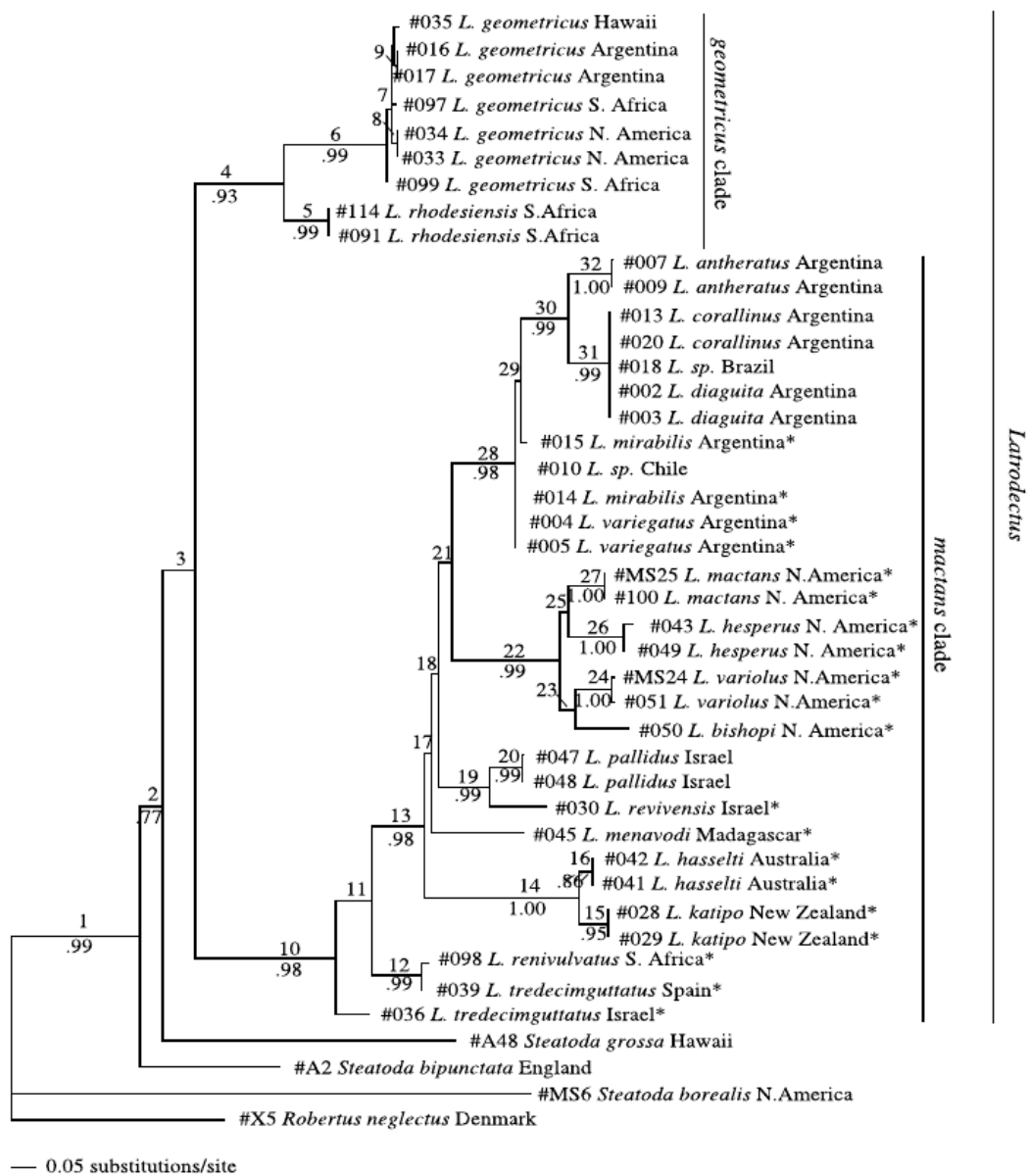


Figura 8. Filogenia del género *Latrodectus* (Tomado de Garb, 2004).

Se utilizó las divisiones de un rectángulo dinámico de raíz 2 para desarrollar la malla y recrear el motivo geoméricamente. Utilizando la malla resultante se extrajo diferentes módulos que se encontraban inscritos en el motivo. La estructura modular del motivo está formada por una predominancia de módulos triangulares. El módulo principal que conforma el motivo es un triángulo isósceles cuyo eje de rotación se encuentra en el centro de la figura (Figura 9).

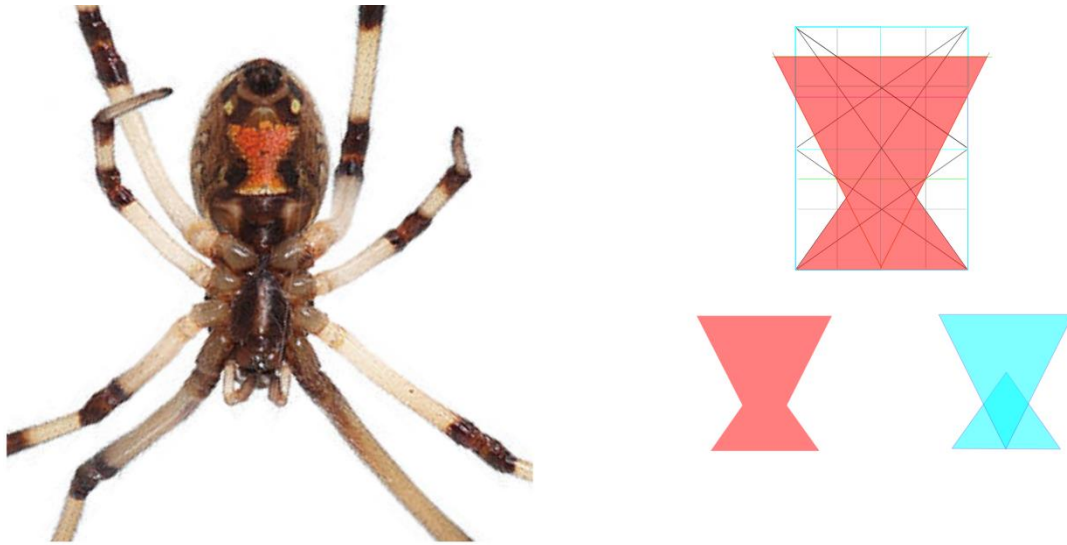


Figura 9. Motivo y malla para *L. geometricus* con módulos.

Para el análisis de las variaciones del motivo se seleccionaron las especies en base a la filogenia del género (Garb, 2004). De esa manera se pretendió cubrir la mayor variación representativa dentro del mismo. Se utilizó la malla obtenida de *L. geometricus* como base para las sucesivas reelaboraciones de las formas. En cada especie las imágenes del motivo sufrieron las operaciones de traslación, rotación o escala para que la base del motivo coincidiera con la malla representativa (Zelditch et al., 2004).

Se determinó que el módulo principal se encuentra siempre en la misma posición, siendo consistente en las diferentes especies pero con diversas variaciones (Figura 10-12). Las operaciones modulares necesarias para recrear las variaciones del motivo son de cierta manera diferentes para cada especie. En el caso de *L. geometricus* se observa que el motivo se construye mediante la reflexión, gradación y traslación del módulo principal. En *L. tredecimguttatus* presenta un caso especial al solo poseer sustracción. En *L. hasseltii* el motivo se construye por la reflexión del módulo principal. En la especie *L. katipo* la construcción del motivo es más compleja ya que se da reflexión, dilatación, traslación,

gradación y sustracción. En *L. pallidus* ocurren la reflexión, gradación y traslación del módulo principal. Para *L. bishopi* se podría concluir que el módulo principal no sufre ninguna operación, o en su defecto ocurre la coincidencia. En *L. variolus* ocurren las operaciones de reflexión, gradación, traslación y sustracción. Para *L. hesperus* suceden las operaciones de reflexión y gradación. En el caso de *L. mactans* el motivo se forma mediante reflexión, gradación, dilatación y sustracción. En *L. antheratus* suceden las operaciones de reflexión, gradación y sustracción. En *L. cucaraviensis* ocurre la reflexión y sustracción. En *L. toracicus* solo ocurre reflexión. Finalmente, en *L. mirabilis* el motivo se forma mediante las propiedades de traslación y gradación.

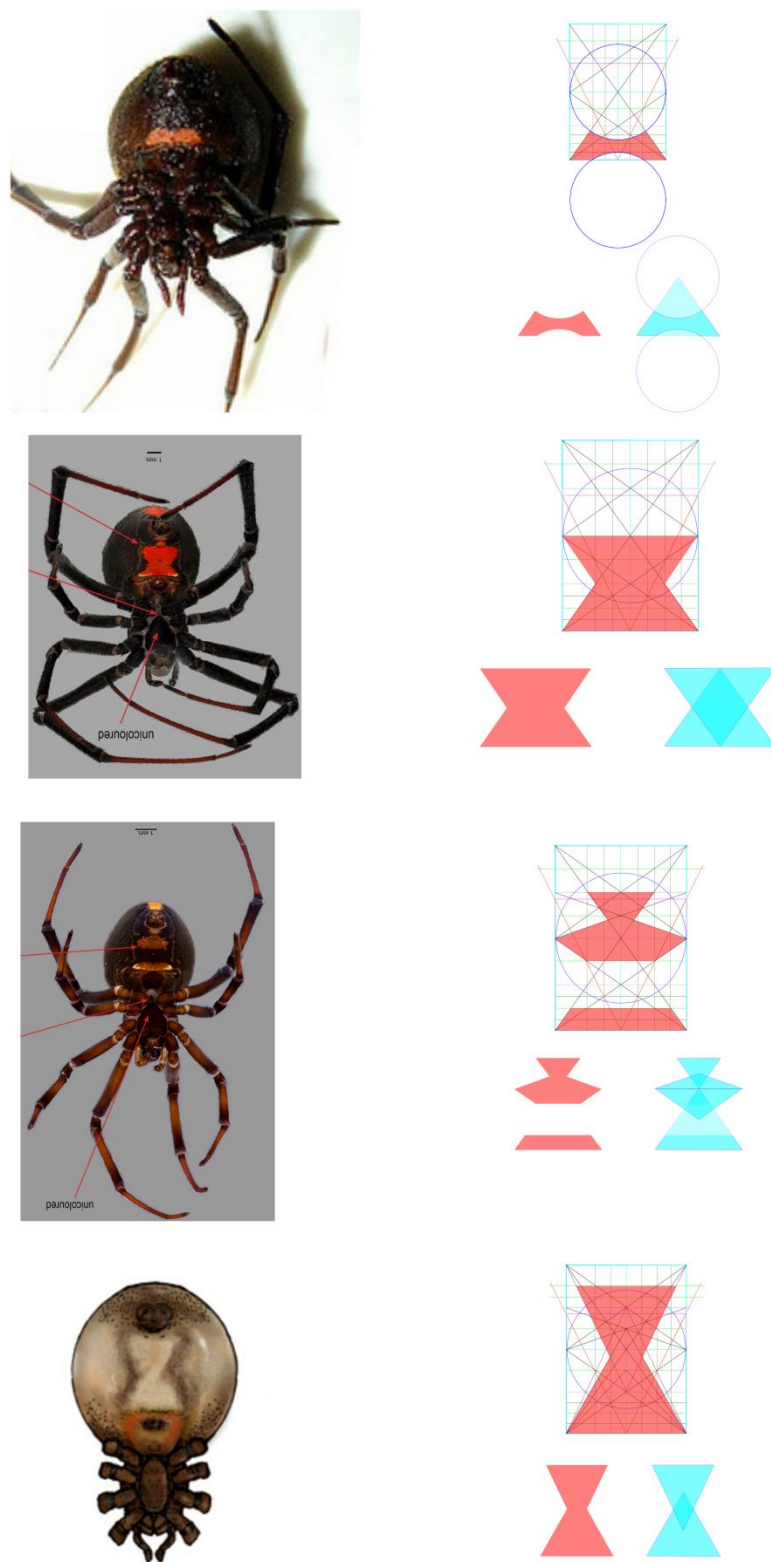


Figura 10. Motivos y mallas dentro del género *Latrodectus* (*L. tredecimguttatus*, *L. hasseltii*, *L. pallidus*, *L. katipo*).

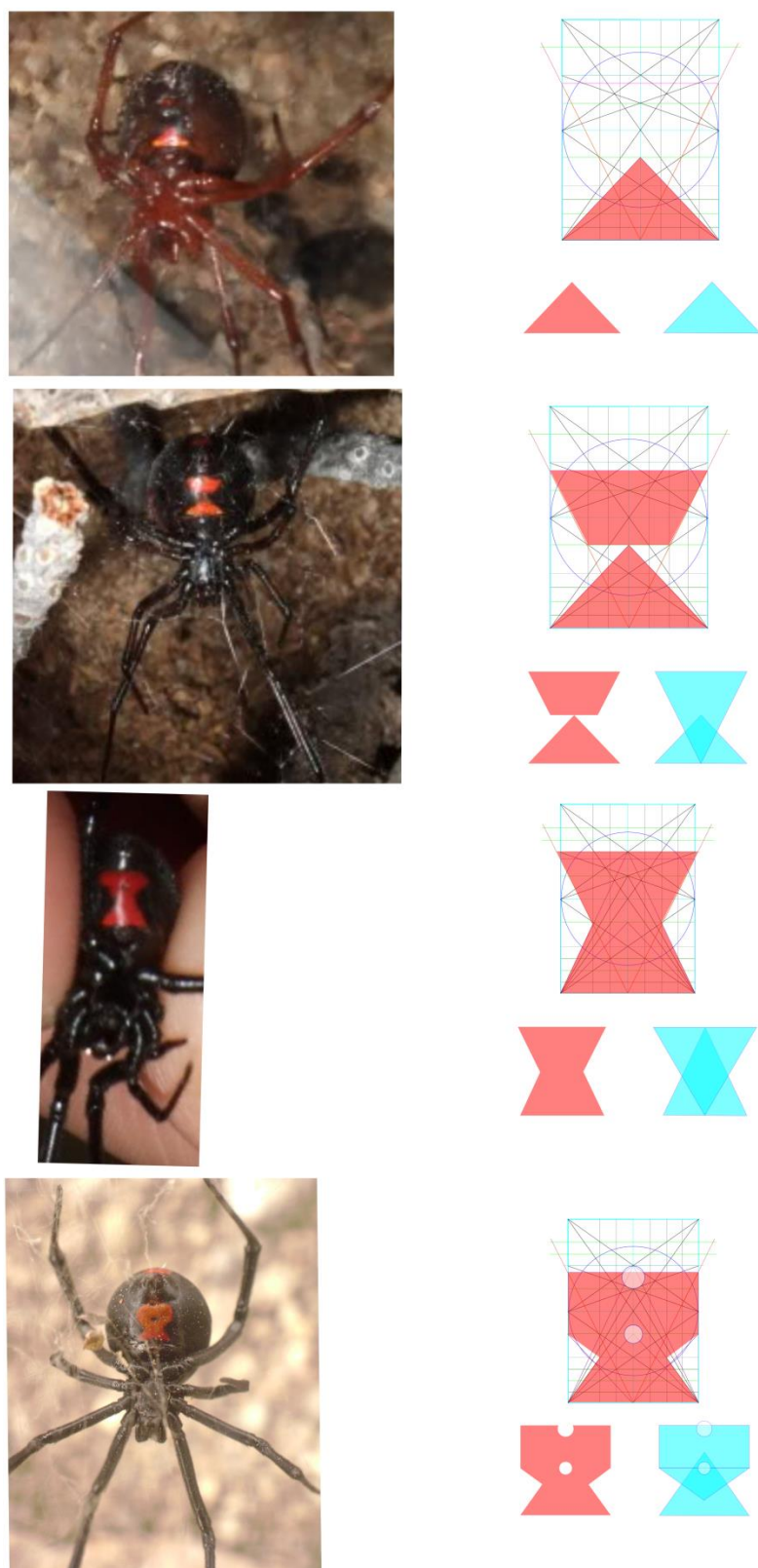


Figura 11. Motivos y mallas dentro del género *Latrodectus* (*L. bishopii*, *L. variolus*, *L. hesperus*, *L. mactans*).



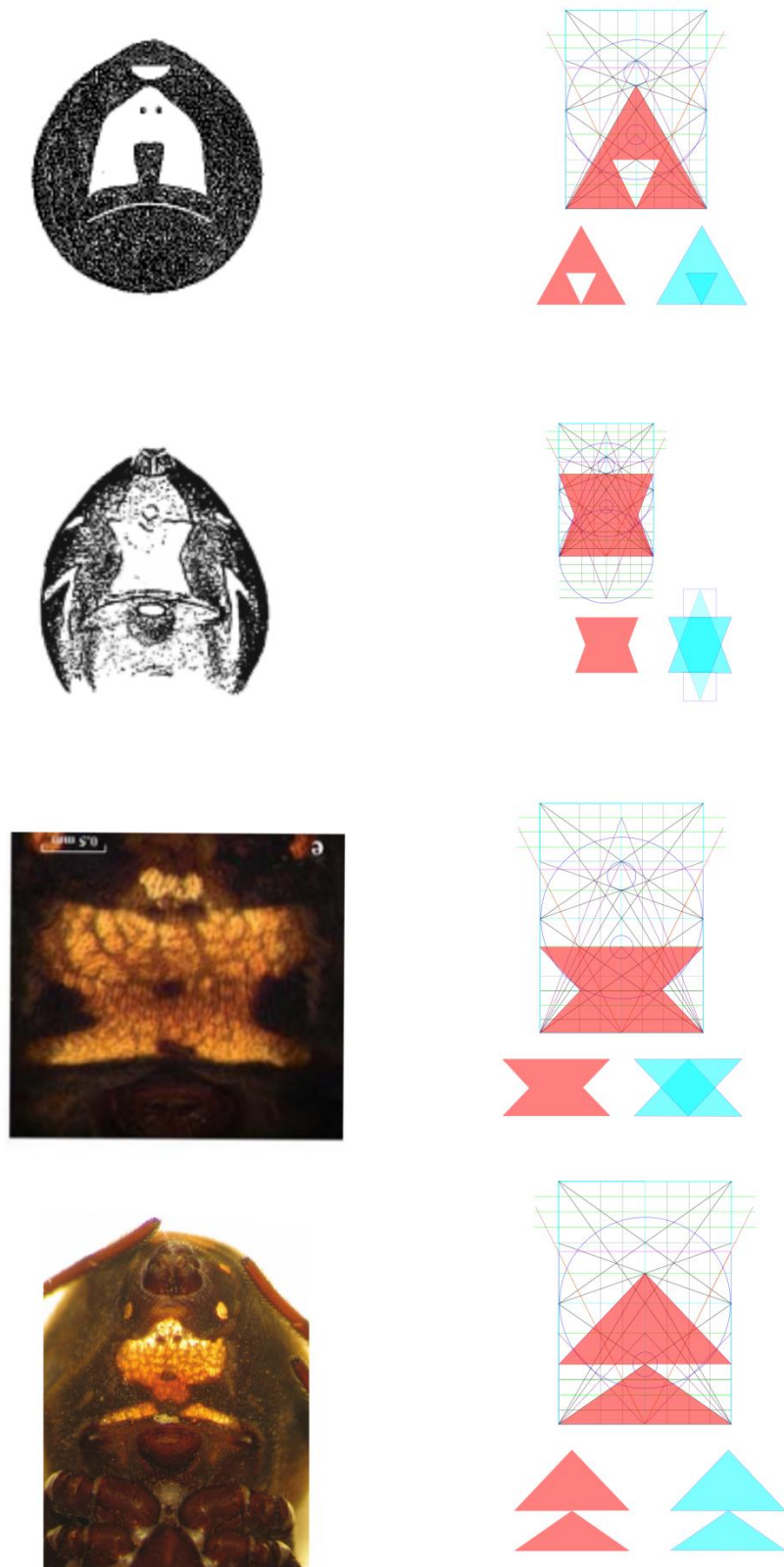


Figura 12. Motivos y mallas dentro del género *Latrodectus* (*L. antheratus*, *L. cucaraviensis*, *L. toracicus*, *L. mirabilis*).

***Color.***

Se obtuvieron imágenes de distintas especies de viuda negra (Figura 13), en las cuales el motivo fue recortado dejando un área alrededor del abdomen.



*Figura 13. Imágenes del motivo aislado en Latrodectus.*

Se observó que en general la cromática del motivo se encuentra entre el espectro del rojo, con ligeras variaciones hacia el amarillo. La saturación por lo general es mayor al 80% y el valor va en su mayoría hacia el negro, sin embargo ambas coordenadas poseen una gran variación dentro del género (Figura 14-16). Así mismo, la coloración del abdomen difiere entre las especies ligeramente, pero por lo general es de un color rojo oscuro o negro.



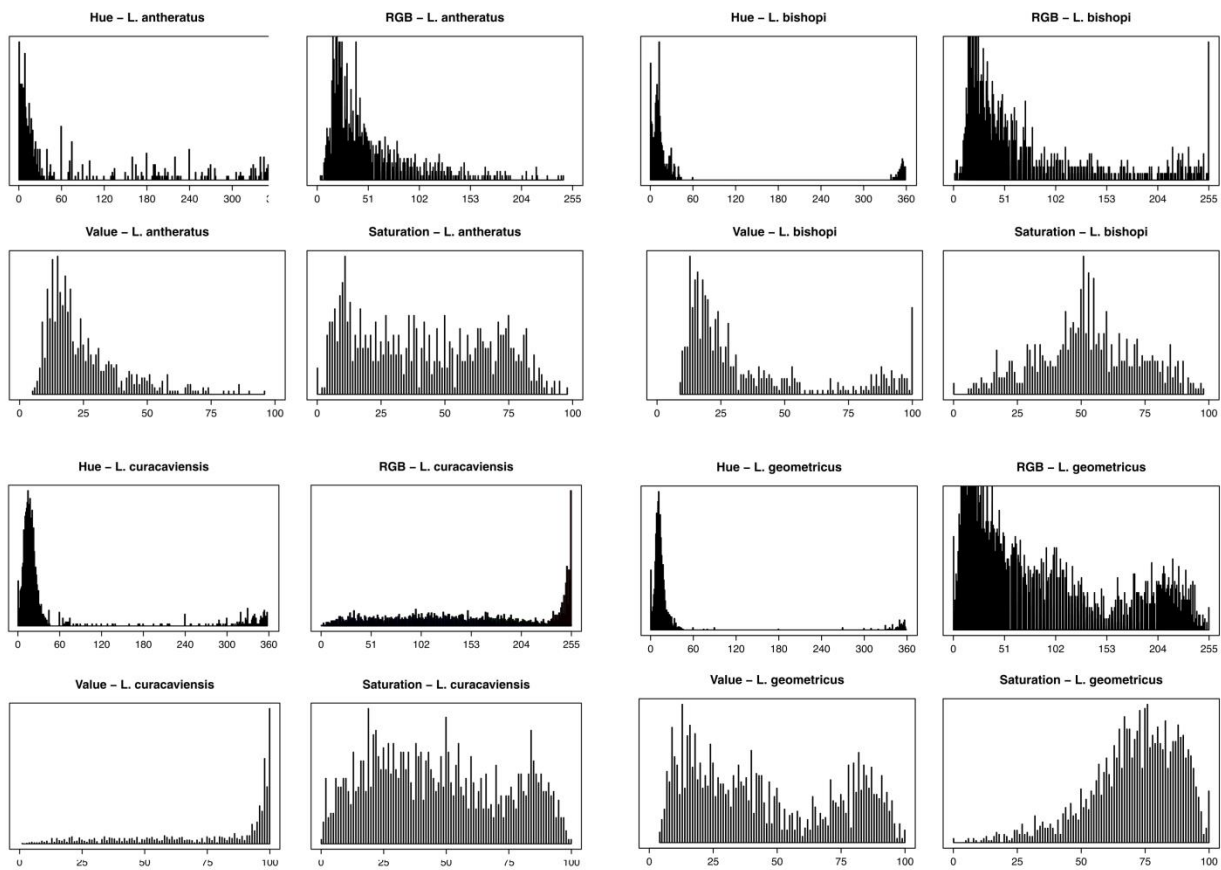


Figura 14. Histogramas de HSV y RGB para diferentes especies de *Latrodectus*.

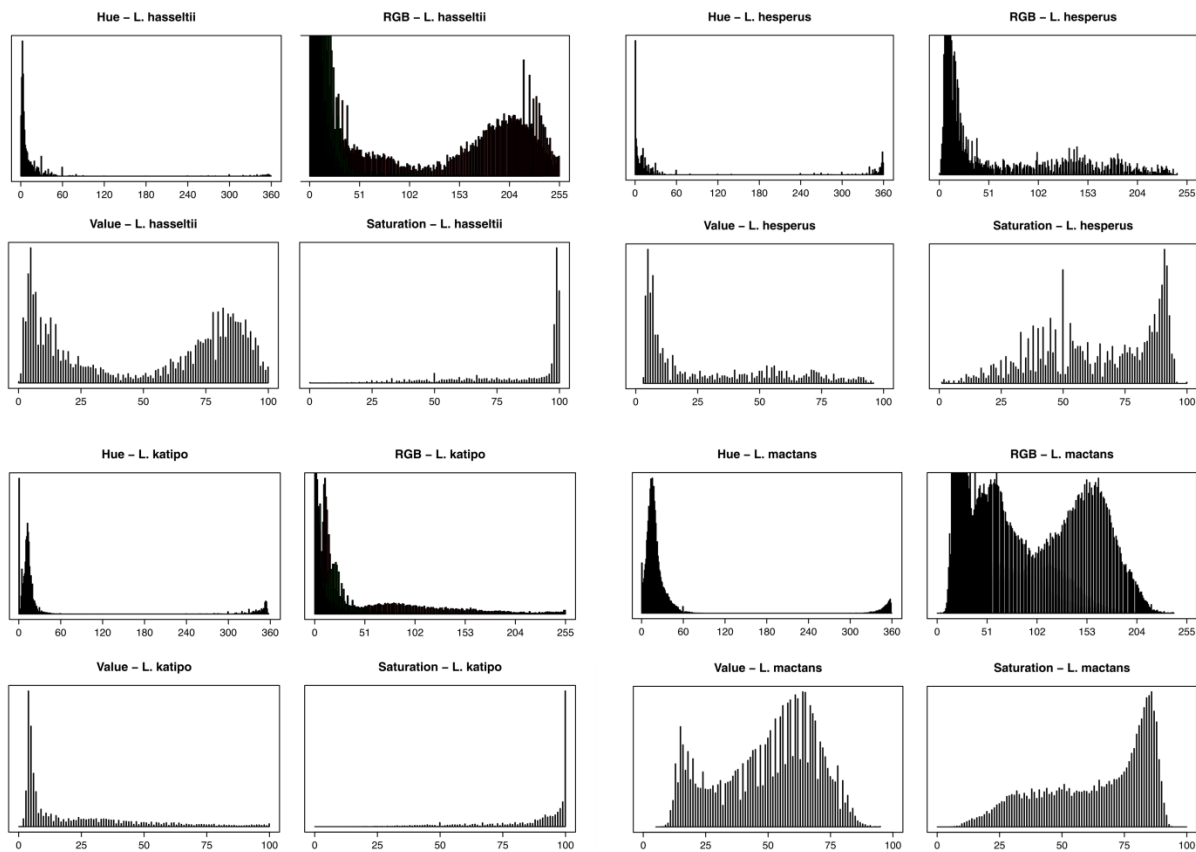


Figura 15. Histogramas de HSV y RGB para diferentes especies de *Latrodectus*.

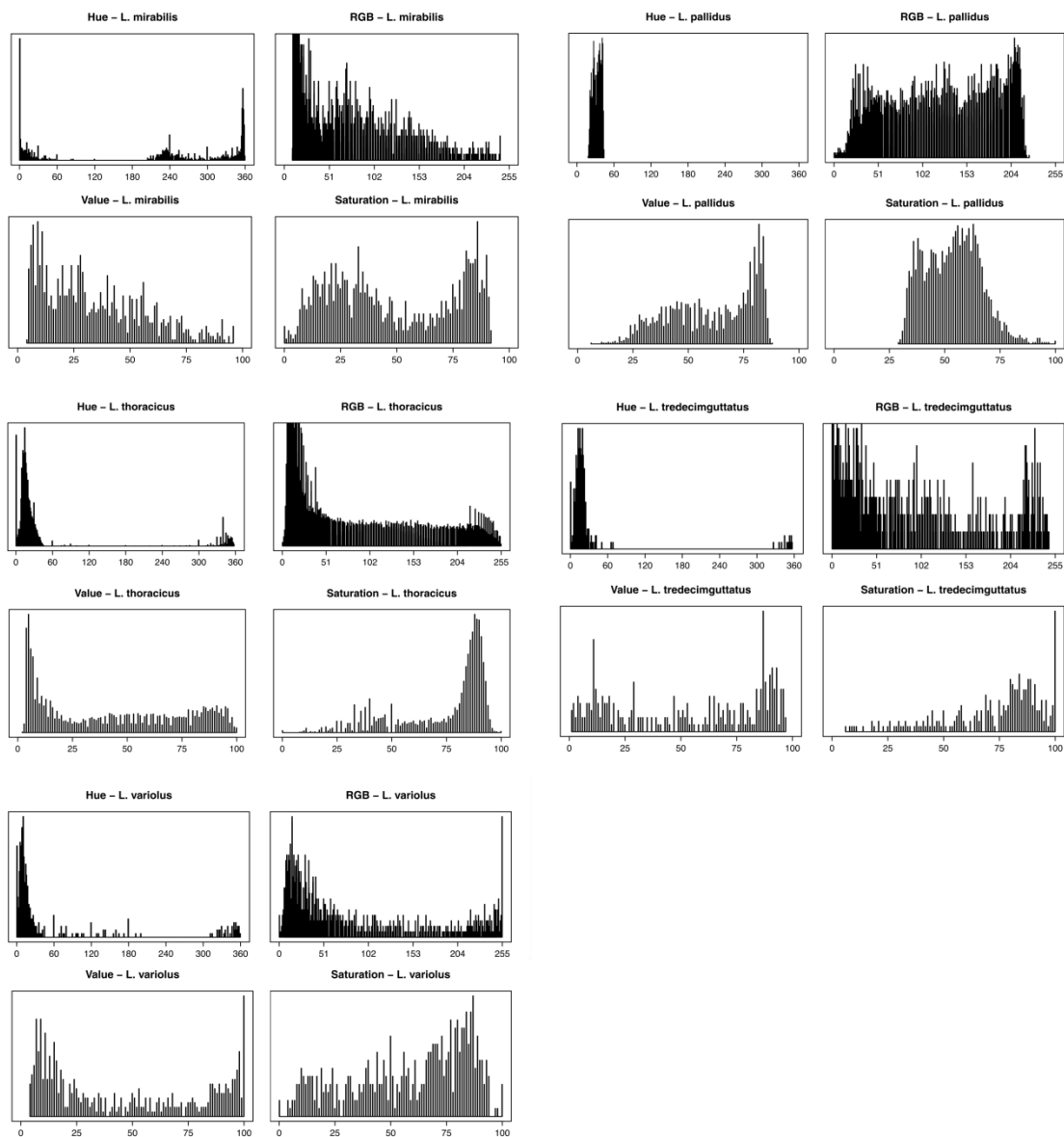


Figura 16. Histogramas de HSV y RGB para diferentes especies de *Latrodectus*.

La paleta de color que se obtuvo de cada especie está basada en los estadísticos descriptivos de la media, mínimos, máximos y los colores intermedios para crear una paleta de siete colores, que reflejan tanto la cromática del motivo como la del abdomen de la araña (Figura 17). En las cuales se observan la predominancia de rojos y negros; por lo general los valores medios son los que más variación muestran y se encuentran entre el amarillo, verde y azul desaturados.

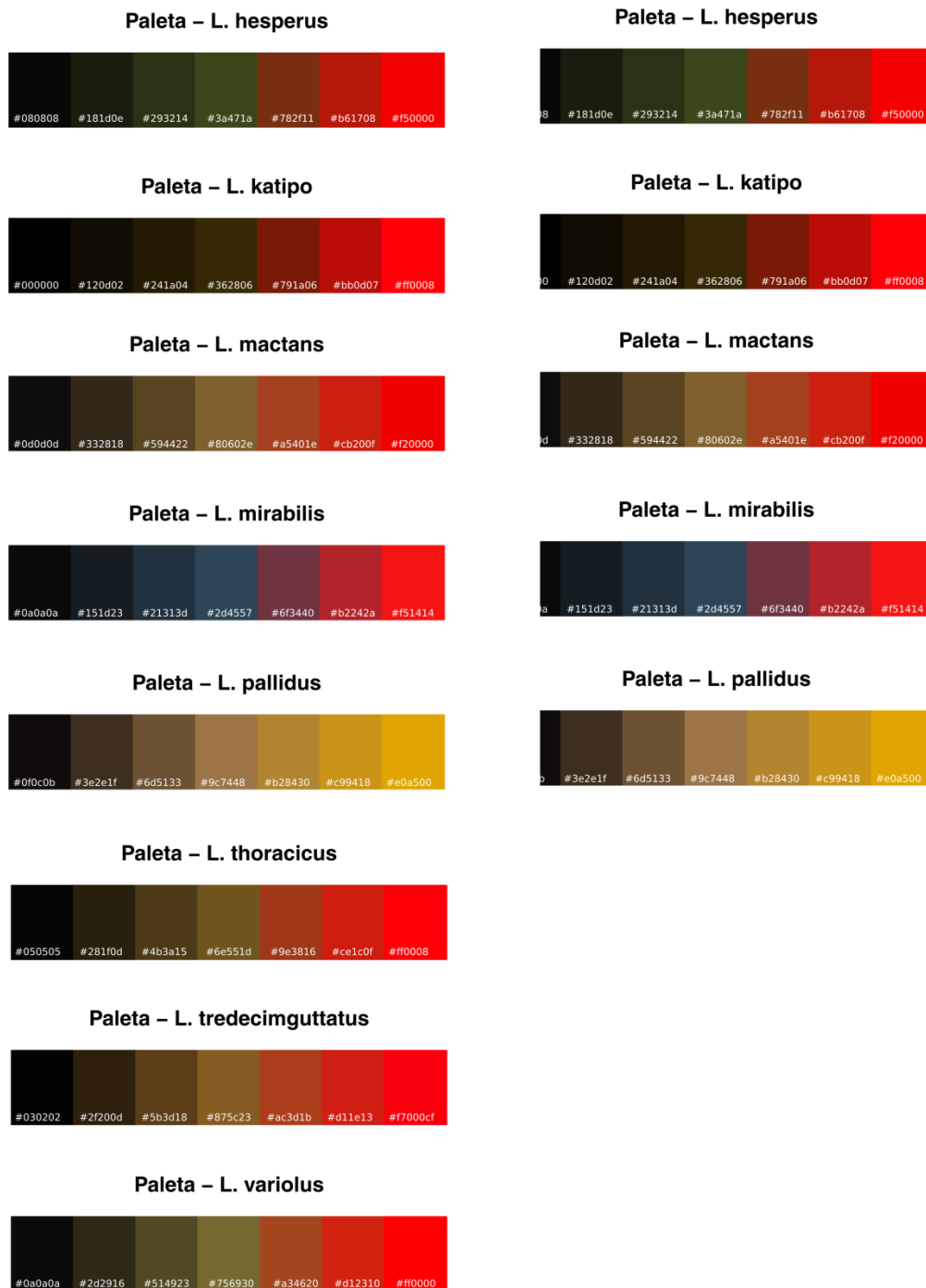


Figura 17. Paletas de color para *Latrodectus*.

### ***Relaciones evolutivas.***

El motivo seleccionado dentro del género *Latrodectus* posee una estructura modular triangular, y está conformado por un módulo principal triangular, el cual sufre las operaciones

de reflexión, gradación, traslación, sustracción y dilatación para formar todas las variaciones que se observan en las especies analizadas (Figura 18). No todas las operaciones ocurren en todas las especies, y de cierta manera existe un orden en su ocurrencia. La sustracción solo ocurre en 6 especies (*L. cucaraviensis*, *L. antheratus*, *L. mactans*, *L. variolus*, *L. katipo* y *L. tredecimguttatus*) que no están directamente relacionadas, por lo que posee seis orígenes independientes dentro del género. La reflexión es la propiedad más común, aunque solo dos especies no la poseen (*L. bishopi* y *L. tredecimguttatus*), y por sí sola permite la formación del reloj de arena. La operación de gradación se encuentra en la mayoría de especies, a excepción de *L. mirabilis* y *L. thoracicus* donde su grupo evolutivo al parecer eliminó dicha operación. Hay que destacar que la traslación y la gradación solo ocurren si existe una reflexión previa, con lo cual podemos deducir que las operaciones no ocurren al azar y existe una secuencia. La cual podría ser: reflexión, traslación, gradación, sustracción y/o dilatación.

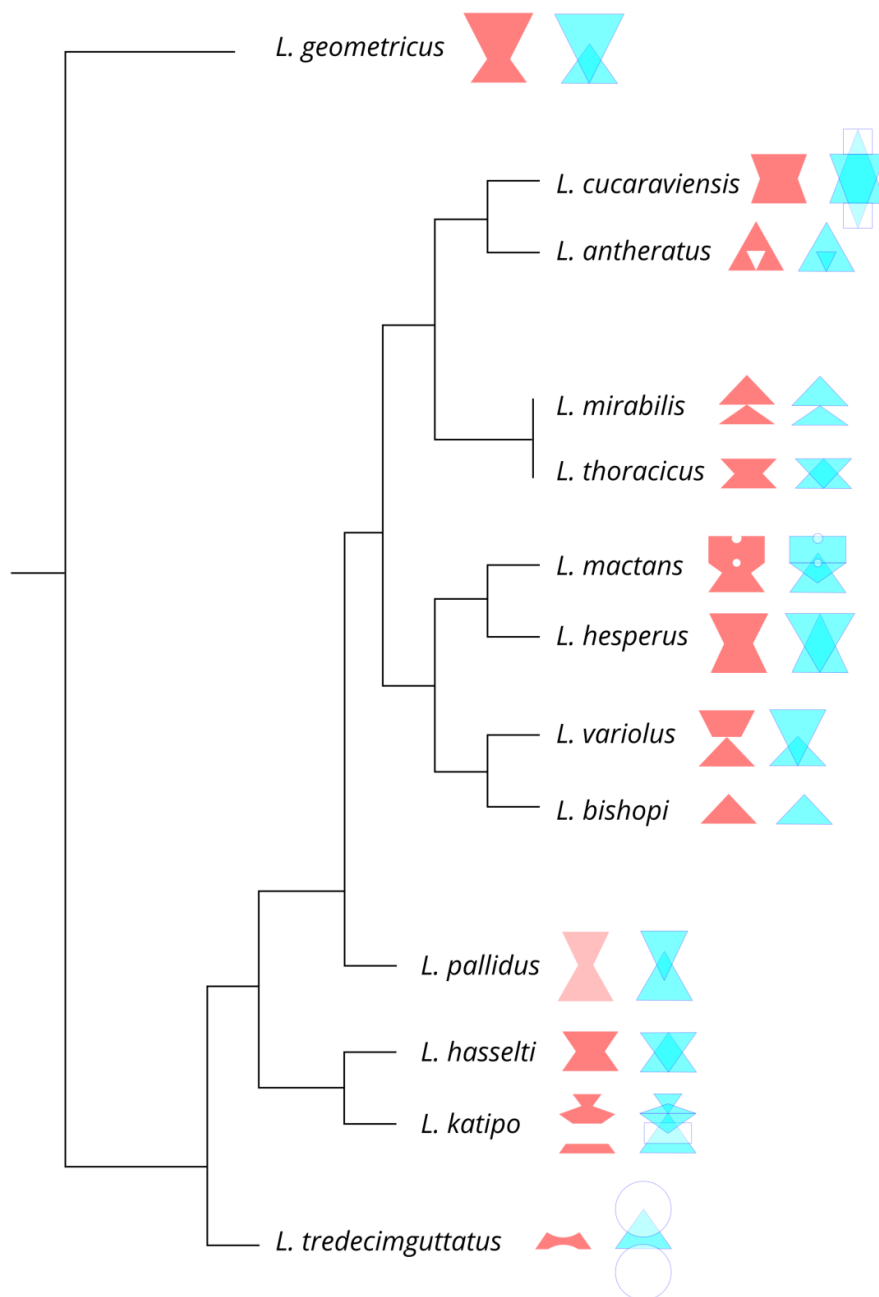


Figura 18. Filogenia y motivos en *Latrodectus* mostrando la relación entre especies.

El color se mantiene constante dentro del grupo biológico, generalmente entre los matices del rojo. Únicamente *L. pallidus* presenta una coloración hacia el amarillo. La mayoría de la coloración en artrópodos resultan de los productos de los ommocromos, los cuales son derivados del ácido amino triptófano; y son mejor conocidos por ser los

responsables de una amplia gama de colores en arañas que van del amarillo, rojo, dorado y café oscuro. La forma reducida de este compuesto es roja/café, y su forma oxidada es usualmente amarilla (Insausti & Casas, 2008).

El reloj de arena siempre se encuentra en un alto contraste con la coloración oscura del abdomen, haciendo que este motivo sea conspicuo, y funcionando como una señal aposemática (Gburek, 2014). Los colores brillantes de advertencia son favorecidos por la selección natural debido a que son fácilmente reconocibles visualmente o por aprendizaje (Mallet & Joron, 1999). Así mismo, el color puede ser sensible a los factores ambientales como la temperatura, la dieta, la luz, la abundancia de predadores, competencia y estrés. Por lo cual, el matiz del reloj de arena puede modificarse por la presencia de alimento o por el tipo de presas, con lo cual el color puede ser más tomate y menos rojo (Gburek, 2014). De la misma manera, el color puede tener un valor elevado (más brillante) con el objetivo de aumentar la cripsis y pasar desapercibido frente a la presa o potenciales enemigos (Théry & Casas, 2009).

### **Anelosimus.**

#### ***Forma.***

Tomando como base la última revisión del género *Anelosimus* (Agnarsson, 2012), se obtuvieron imágenes de 11 especies de arañas sociales de distintas áreas geográficas.

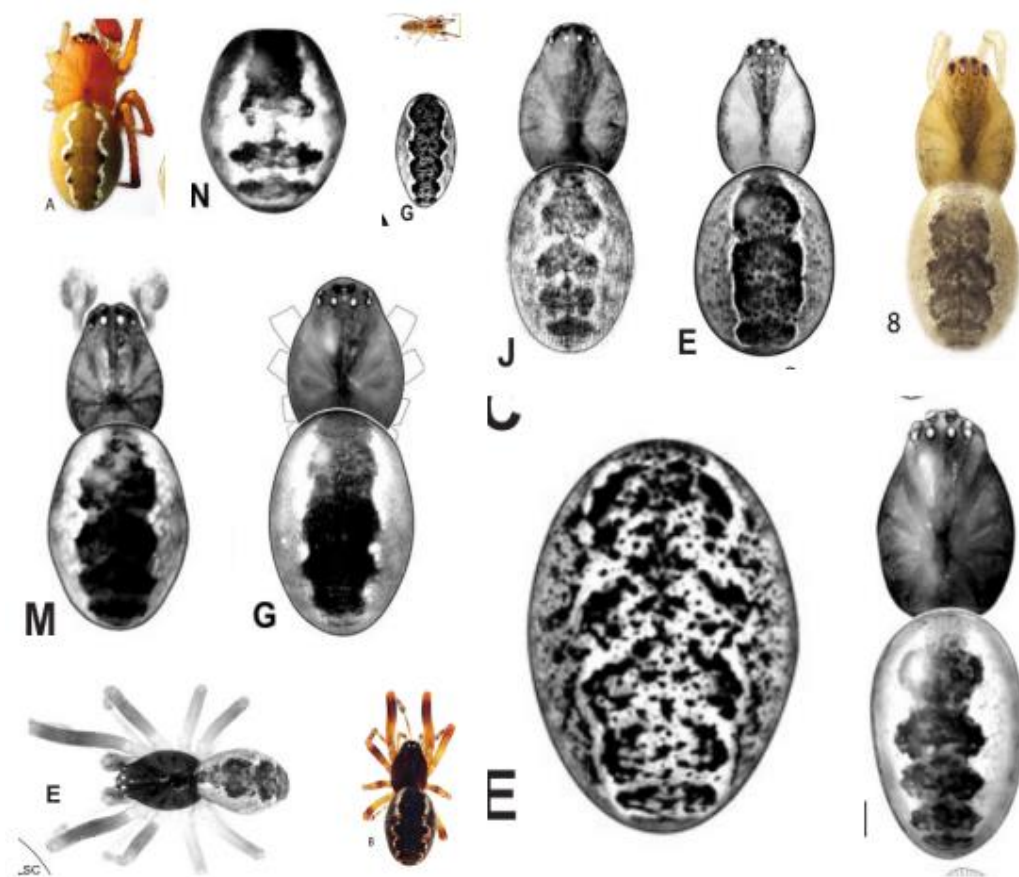
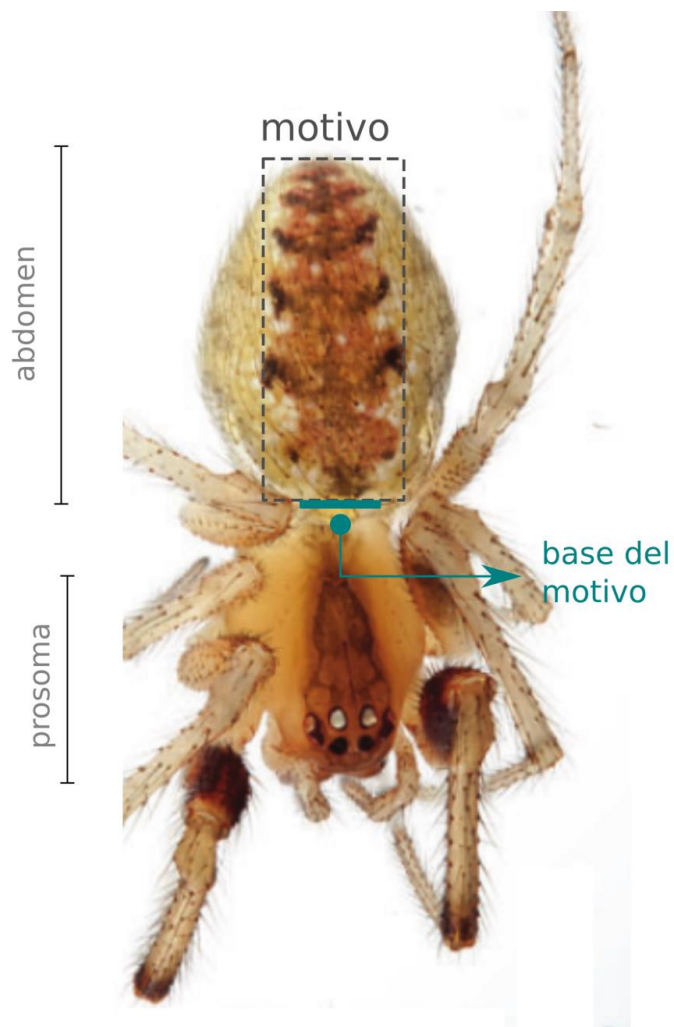


Figura 19. Especies del género *Anelosimus* (Agnarsson, 2006; Agnarsson, 2012).

*Anelosimus* es un género de arañas de sociales, que puede ser identificado de sus semejantes por el patrón dorsal de coloración oscura del abdomen, el cual está formado por una banda central longitudinal (Agnarsson, 2006). La forma y coloración de este patrón posee una relación directa con la especie, permitiendo ser un elemento de identificación en el campo (Vega, 2010). Todas estas características lo vuelve un candidato ideal para el análisis. Se consideró como la base del motivo, al borde superior que se encuentra en la parte apical del abdomen, más cercano al prosoma (Figura 20).





*Figura 20. Base del motivo en Anelosimus.*

Dentro del género *Anelosimus* se tomó a la especie *A. luckyi* como representante, debido a que es una de las especies más basales dentro de la filogenia (Figura 21) de la cual se pudo conseguir imágenes para el análisis. Se utilizó las divisiones de un rectángulo dinámico de raíz 5 para desarrollar la malla y recrear el motivo geoméricamente.

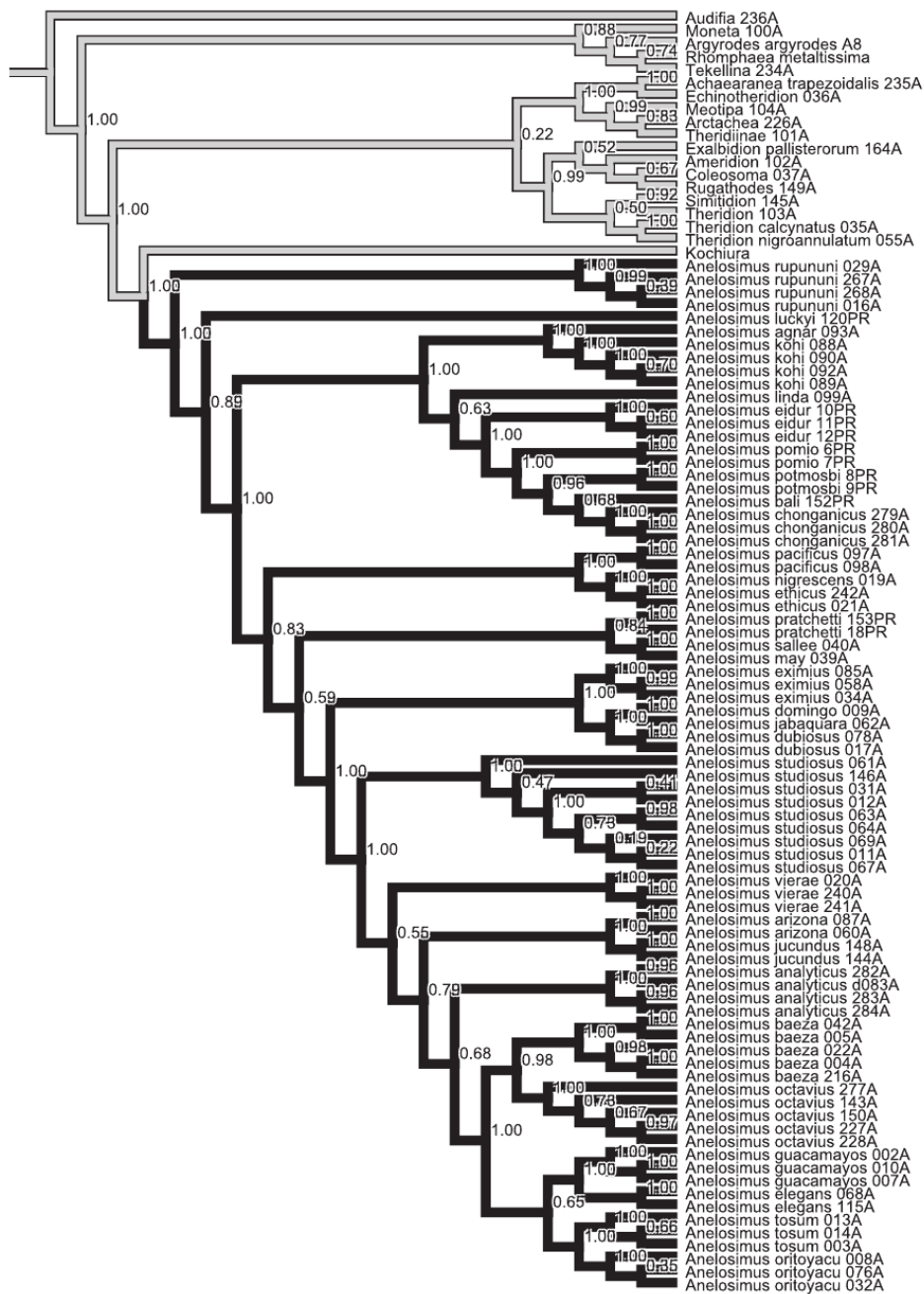


Figura 21. Filogenia del género *Anelosimus* (Tomado de Agnarsson, 2012).

Utilizando la malla resultante se extrajeron diferentes módulos que se encontraban inscritos en el motivo. La estructura modular del motivo está formada por una predominancia de módulos circulares y trapezoides, los cuales se extrajeron tratando de cubrir la mayor porción del área del motivo. Los módulos principales que forman el motivo son el trapecio y

el círculo, cuyos ejes de rotación se encuentran en el centro de cada figura (Figura 22). El trapecio forma un supermódulo central, sobre el cual se disponen dos supermódulos formados por entre 5 y 4 círculos respectivamente.



Figura 22. Motivo y malla para *A. luckyi*. con módulos.

En el análisis de las variaciones del motivo, las especies se seleccionaron en base a la filogenia más reciente (Agnarsson, 2012), de esa manera se pretendió cubrir la mayor variación representativa dentro del género. Para el análisis de las variaciones en otras especies, se utilizó la malla obtenida de *A. luckyi* como base para las sucesivas reelaboraciones de las formas. En cada especie las imágenes del motivo sufrieron las operaciones de traslación, rotación y escala para que la base del motivo coincida con la malla representativa (Zelditch et al., 2004). Sin embargo, únicamente en cuatro especies (*A. eidur*, *A. viera*, *A. arizona*, *A. tosum*) la malla se construyó en base a un rectángulo dinámico de raíz 4.

Se determinó que los módulos principales se encuentran siempre en la misma posición, siendo consistentes en las diferentes especies pero con diversas variaciones como

son el número de círculos o sus tamaños (Figura 23-24). Las operaciones modulares necesarias para recrear las variaciones del motivo son sustracción y adición entre los supermódulos; cuya estructura interna varía en cada especie. En *A. luckyi* el motivo se construye por un supermódulo central formado por 3 trapecios, del cual se sustrae un supermódulo formado por 6 círculos, y a cuyo resultado se adiciona un supermódulo de 6 círculos. El motivo en *A. eidur* se forma por un supermódulo de 4 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 6 círculos y la adición de un supermódulo de 7 círculos. En *A. pomio* el supermódulo se forma por 3 trapecios, con la sustracción de un supermódulo de 5 círculos y la adición de un supermódulo de 6 círculos. En *A. ethicus* el motivo se construye por un supermódulo de 3 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 6 círculos y la adición de un supermódulo de 5 círculos. El motivo en *A. jabaquara* se forma por un supermódulo de 4 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 5 círculos y la adición de un supermódulo de 6 círculos. En *A. studiosus* el motivo está compuesto por un supermódulo de 4 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 4 círculos y la adición de un supermódulo de 5 círculos. En *A. viera* el motivo se forma por un supermódulo de 4 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 4 círculos y la adición de un supermódulo de 5 círculos. Para *A. arizona* el motivo está constituido por un supermódulo de 5 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 3 círculos y la adición de un supermódulo de 4 círculos. En *A. baeza* el motivo está formado por un supermódulo de 4 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 4 círculos y la adición de un supermódulo de 5 círculos. Para *A. guacamayos* el motivo está constituido por un supermódulo de 4 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 4 círculos y la adición de un supermódulo de 5 círculos. En *A. tosum* el motivo está formado por un supermódulo de 5 trapecios, la sustracción de un supermódulo de 3 círculos y la adición de un supermódulo de 4 círculos.



Figura 23. Motivos y mallas dentro del género *Anelosimus*.

### Color.

Se obtuvieron imágenes de 4 especies de arañas sociales, en las cuales el motivo fue recortado dejando un área alrededor del abdomen.

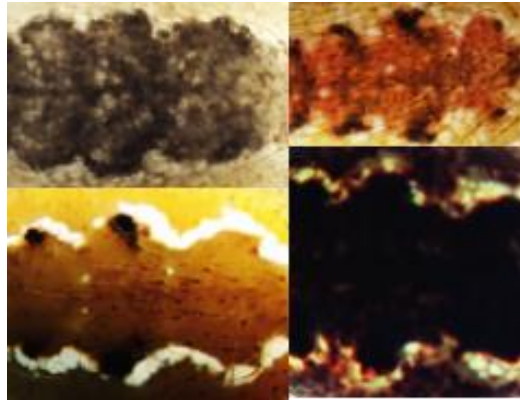


Figura 24. Imágenes del motivo aislado en *Anelosimus*.

Se observó que la cromática del motivo se encuentra en los matices del amarillo y naranja, variando en gran medida su saturación y luminosidad.

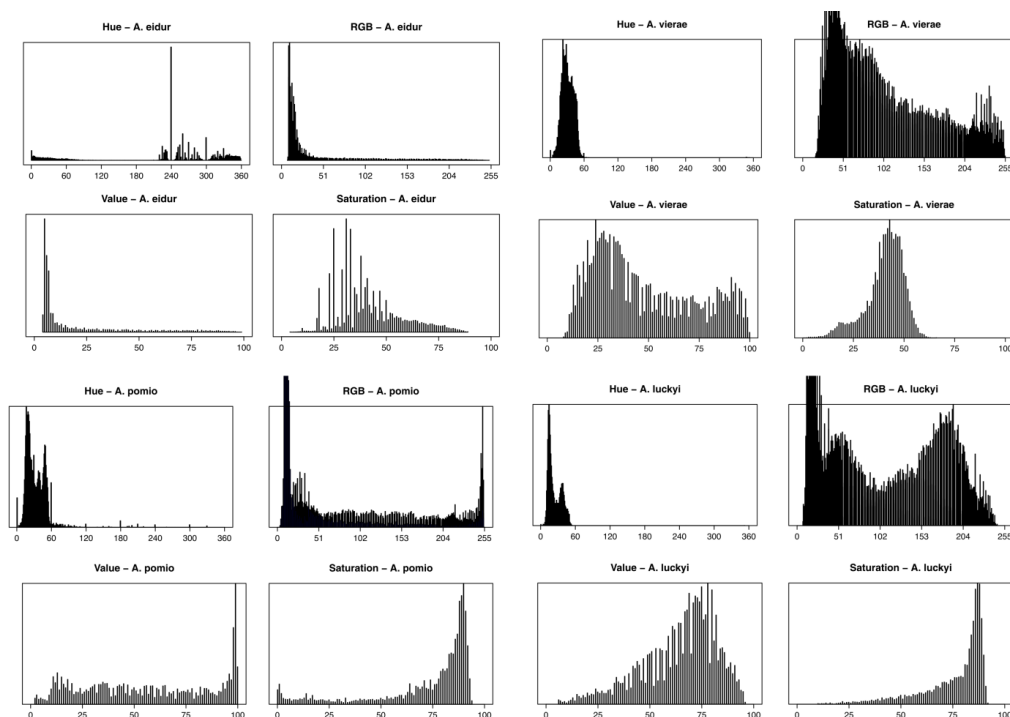
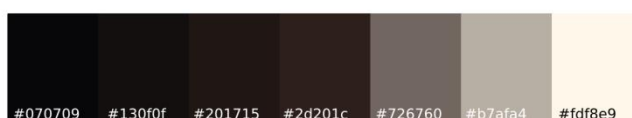


Figura 25. Histogramas de HSV y RGB para *Anelosimus*.

La paleta de color que se obtuvo de cada especie está basada en los estadísticos

descriptivos de la media, mínimos, máximos y los colores intermedios para crear una paleta de siete colores, que reflejan tanto la cromática del motivo como la del abdomen de la araña (Figura 27). En esta paleta se observa la predominancia de tonos cafés entre amarillos y naranjas bastante desaturados.

#### Paleta – A. eidur



#### Paleta – A. luckyi



#### Paleta – A. pomio



#### Paleta – A. vierae

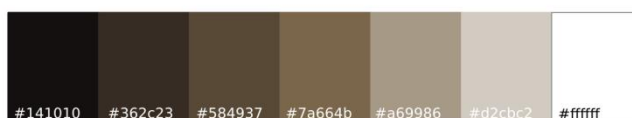


Figura 26. Paletas de color para *Anelosimus*.

#### ***Relaciones evolutivas.***

El motivo dorsal del abdomen en el género *Anelosimus* posee una estructura modular formada dos módulos principales, los cuales construyen tres supermódulos que sufren las operaciones de sustracción y adición; estas operaciones se mantienen en todas las especies.



Las diferencias en las formas de los motivos suceden en los módulos principales, donde el número de trapecios en mayor medida se mantiene constante, mediante las operaciones de reflexión, traslación y gradación. Sin embargo, la mayor variación ocurre en los módulos circulares, los cuales son afectados por las operaciones de traslación y gradación. Se puede observar que existe una tendencia hacia la reducción del número de círculos que poseen los supermódulos; lo cual resulta en que el motivo sea más compacto y redondeado.

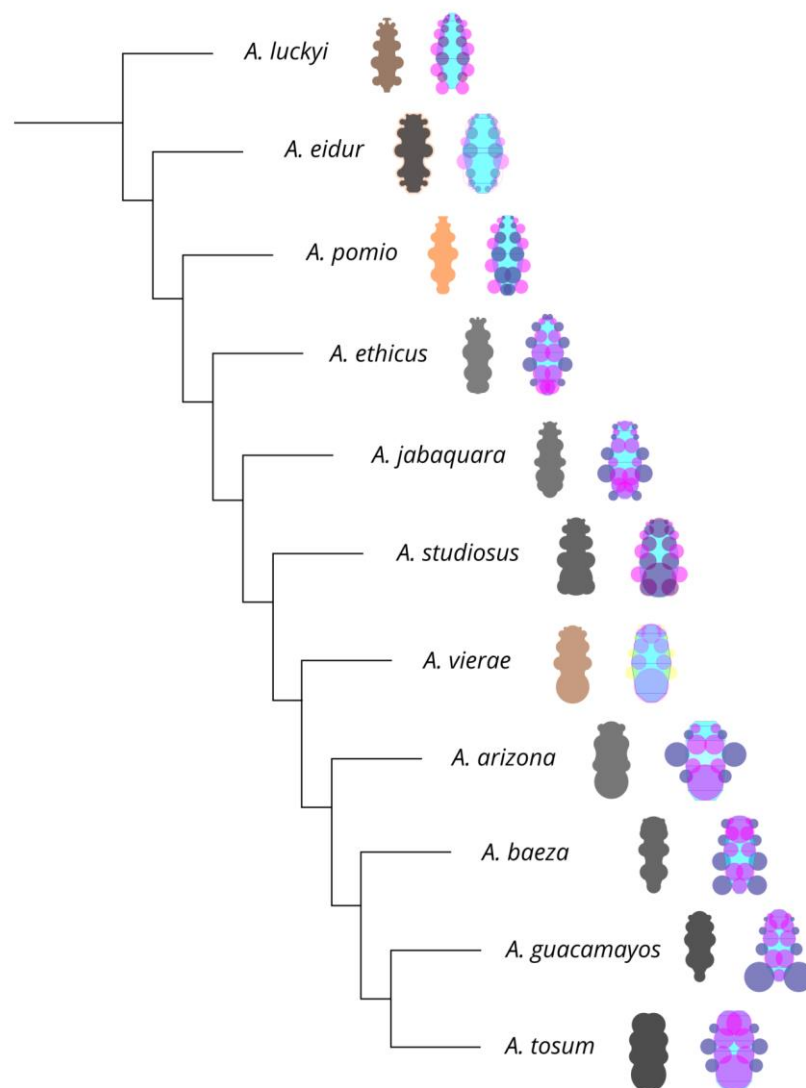


Figura 27. Filogenia y motivos en *Anelosimus* mostrando la relación entre especies.

La falta de imágenes a color de todas las especies analizadas dificulta que se pueda



hacer observaciones sobre la cromática del motivo y del abdomen. Sin embargo, en las especies que se analizó el color, se observa una constancia del color entre el amarillo y el naranja. Hay que señalar que el motivo, en la mayoría de especies está rodeado por una banda de un color claro, cercano al blanco; marcando un fuerte contraste en el motivo y el abdomen. Este patrón de coloración es típico entre las especies del género a nivel mundial (Agnarsson & Zhang, 2006), y las variaciones que se observan pueden ser producidas en respuesta al hábitat o posibles predadores (Oxford & Gillespie, 2001).

### **Maratus.**

#### ***Forma.***

Para el análisis de forma se obtuvieron imágenes de 5 especies de arañas pavo real (Figura 29) de distintas zonas geográficas de Australia.

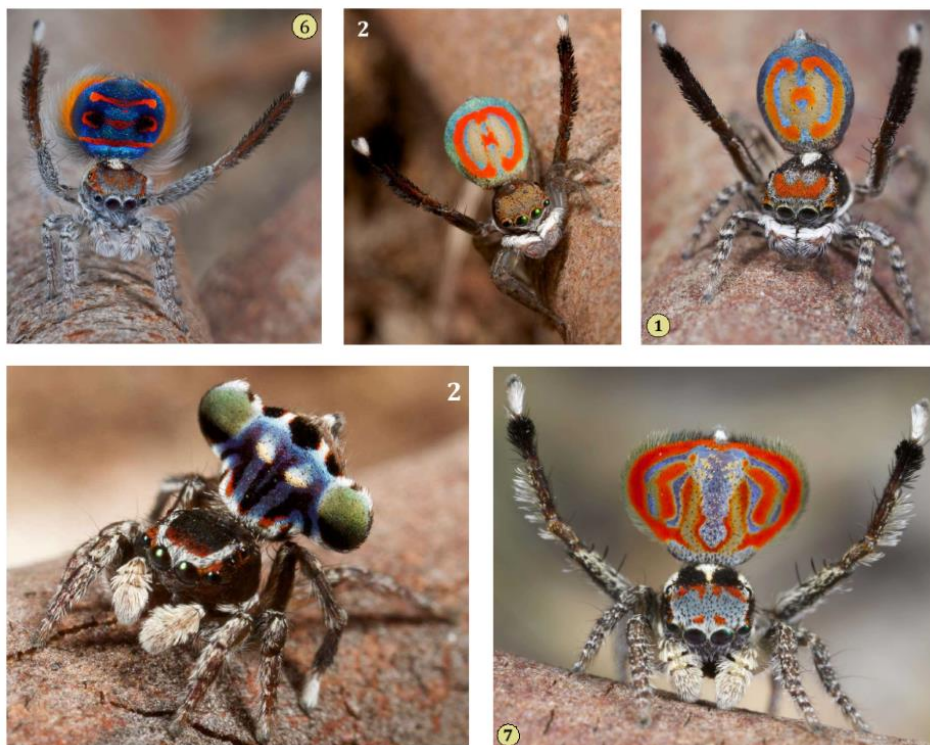
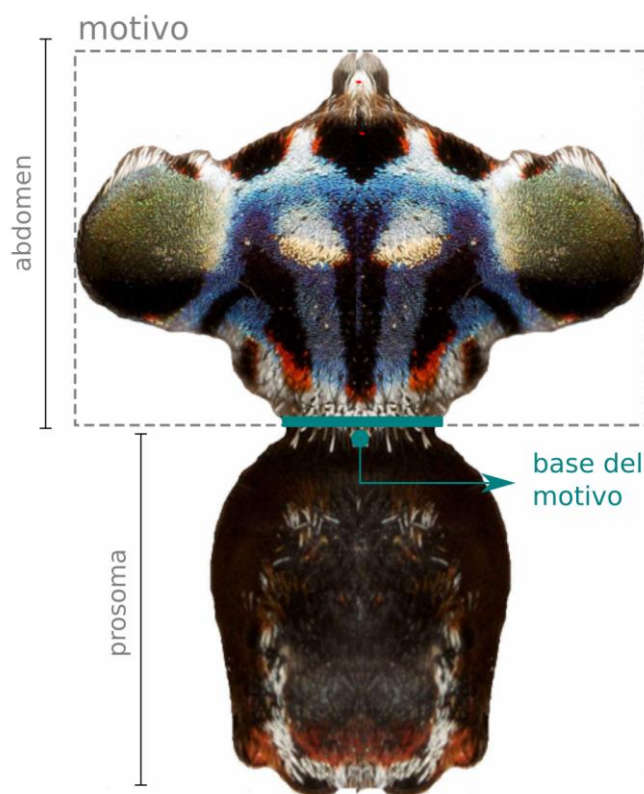


Figura 28. Especies del género *Maratus* (Otto & Hill, 2011; Otto & Hill, 2012).

El género *Maratus* pertenece a la familia de arañas saltadoras, y se las denomina como

arañas pavo real debido a que los machos se caracterizan por poseer un abdomen cubierto con escamas iridiscentes con pliegos que se extienden durante el cortejo (Otto & Hill, 2011). Esta característica ha evolucionado en un abanico de diferentes formas y colores como producto de la selección sexual (Girard et al., 2011), permitiendo reconocer distintos grupos (Otto & Hill, 2012). Esta particularidad fue seleccionada como el motivo de estudio por su relevancia evolutiva. Se consideró como la base del motivo, al borde superior que se encuentra en la parte apical del abdomen, más cercano al prosoma.



*Figura 29. Base del motivo en Maratus.*

Toda malla comenzó a partir de un cuadrado de unidad 1, colocado en el centro del motivo. Cada arista del cuadrado delimitó con un borde de todo el abdomen. La construcción procedió a partir de la formación de círculos y cuadrados con sus posibles subdivisiones

áreas. Dentro del género *Maratus* se tomó a la especie *M. pavonis* como representante debido a que la forma de su abdomen no es tan derivada y es similar a especies de géneros cercanos (Otto & Hill, 2012). Se utilizó las divisiones basándose en la proporción áurea para desarrollar la malla y recrear el motivo geométricamente.

Utilizando la malla resultante se extrajo diferentes módulos que se encontraban inscritos en el motivo. La estructura modular está formada por una predominancia de módulos circulares y triangulares. Los módulos principales que forman el motivo son el círculo y el triángulo, cuyos ejes de rotación se encuentran en el centro de cada figura (Figura 31). Los módulos principales forman agrupaciones que podrían denominarse como supermódulos, pero al ser su construcción tan compleja y al no ser consistentes, se optó por denominarlos como agrupaciones modulares.

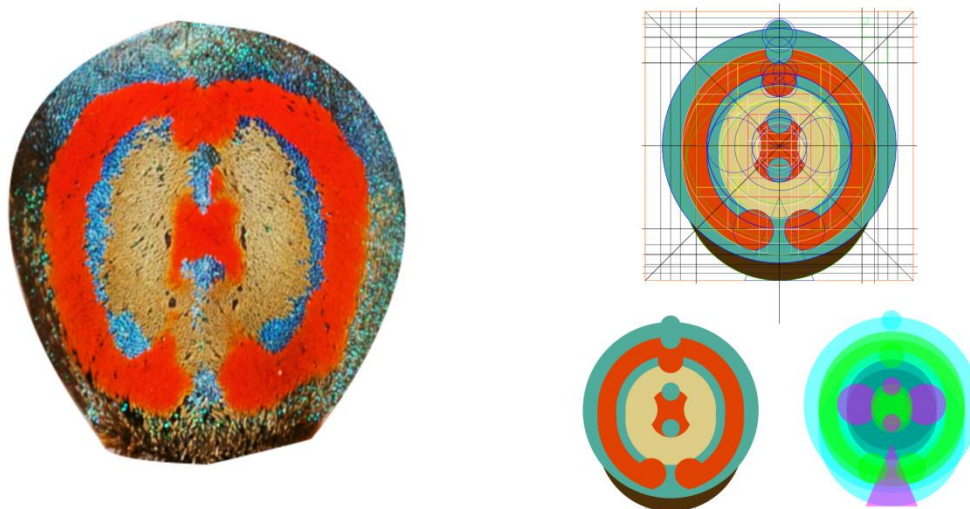


Figura 30. Motivo y malla para *M. pavonis*.

Para el análisis de las variaciones del motivo en las otras especies y al no existir una filogenia del grupo, las especies se seleccionaron en base a los grupos cladísticos determinados (Otto & Hill, 2012); de esa manera se pretendió cubrir la mayor variación representativa de todo el género. Se utilizó la malla obtenida de *M. pavonis* como base para

las sucesivas reelaboraciones de las formas. En cada especie las imágenes del motivo sufrieron las operaciones de traslación, rotación y escala para que la base del motivo coincidiera con la malla representativa (Zelditch et al., 2004).

Se determinó que los módulos principales se encuentran relativamente en la misma posición dentro de cada grupo cladístico, siendo consistente en las diferentes especies. Sin embargo entre grupos, la disposición de los módulos principales cambia totalmente (Figura 32). Las operaciones modulares necesarias para recrear las variaciones del motivo en las agrupaciones modulares son la sustracción y adición. A nivel de los módulos principales se observan las operaciones de traslación y reflexión. La complejidad de los motivos dificulta determinar un orden de las operaciones. Entre *M. pavonis* y *M. literatus*, que son las especies con motivos más similares, se observa una estructura similar de las agrupaciones modulares en un sentido vertical. En las especies *M. speciosus*, *M. elephants* y *M. harrisi* se observa una distribución de las agrupaciones modulares en un sentido horizontal. Únicamente en *M. elephants* no se observa la presencia de módulos triangulares.

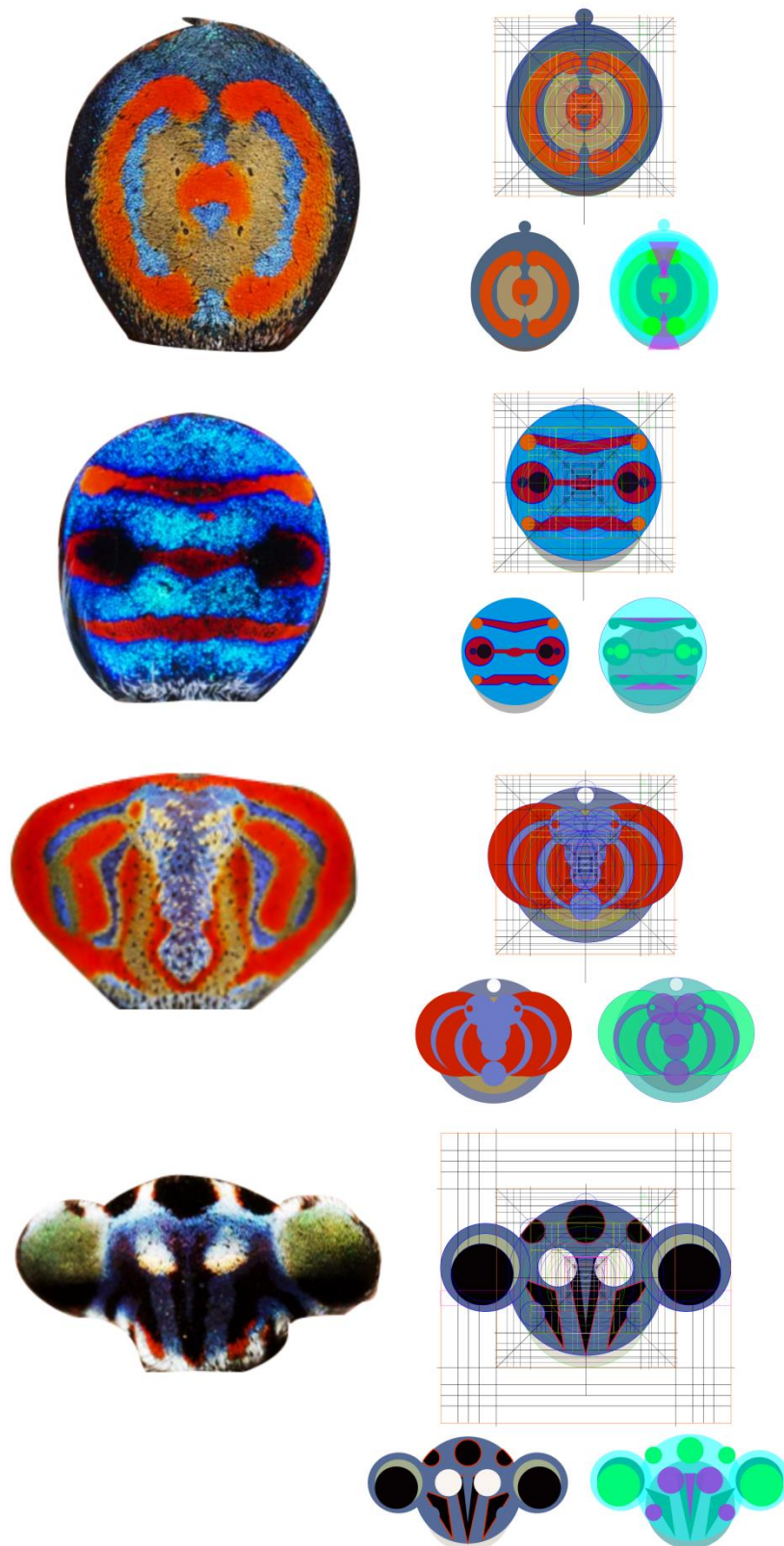


Figura 31. Motivos y mallas dentro del género *Maratus literatus*.



*Color.*

Se obtuvo imágenes de 5 especies de arañas pavo en las cuales el motivo fue recortado dejando un área alrededor del abdomen.



*Figura 32. Imágenes del motivo aislado en Maratus.*

Se observó que la cromática del motivo se mantiene constante dentro de cada grupo cladístico con un contraste marcado entre colores cálidos saturados (rojos, naranjas) sobre un fondo de colores fríos desaturados (verdes, azules).

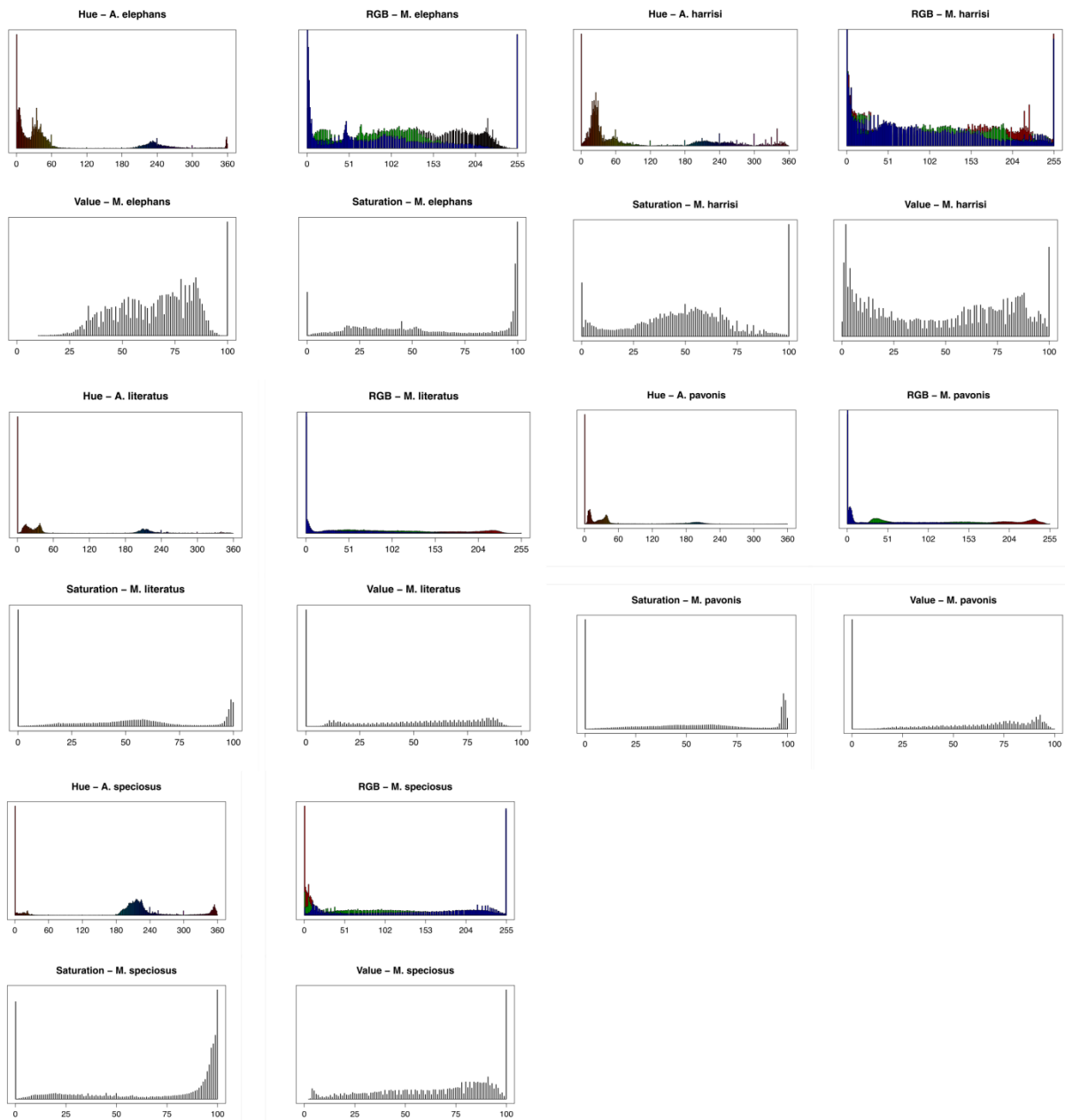


Figura 33. Histogramas de HSV y RGB para *Maratus*.

La paleta de color que se obtuvo de cada especie está basada en los estadísticos descriptivos de la media, mínimos, máximos y los colores intermedios para crear una paleta de siete colores que reflejan la cromática del motivo (Figura 35), en la cual se observa la predominancia de rojos, naranjas, amarillos, azules y negros; por lo general los valores medios son los que más varían entre el verde y azul desaturados.



*Figura 34. Paletas de color para Maratus.*

### ***Relaciones evolutivas.***

El motivo del abdomen en las arañas pavo real presenta una gran complejidad, y sus diferentes diseños han permitido agrupar las especies dentro de diferentes clados. La selección bajo la cual se encuentran ha desembocado en la creación de diseños complejos; sin



embargo, la estructura básica se mantiene y respeta las proporciones áureas. Es posible señalar a las operaciones modulares de sustracción y adición como las principales, seguidas por la traslación y gradación. Se puede observar una tendencia hacia una mayor superficie de despliegue del motivo, con patrones más intercalados o complejos.

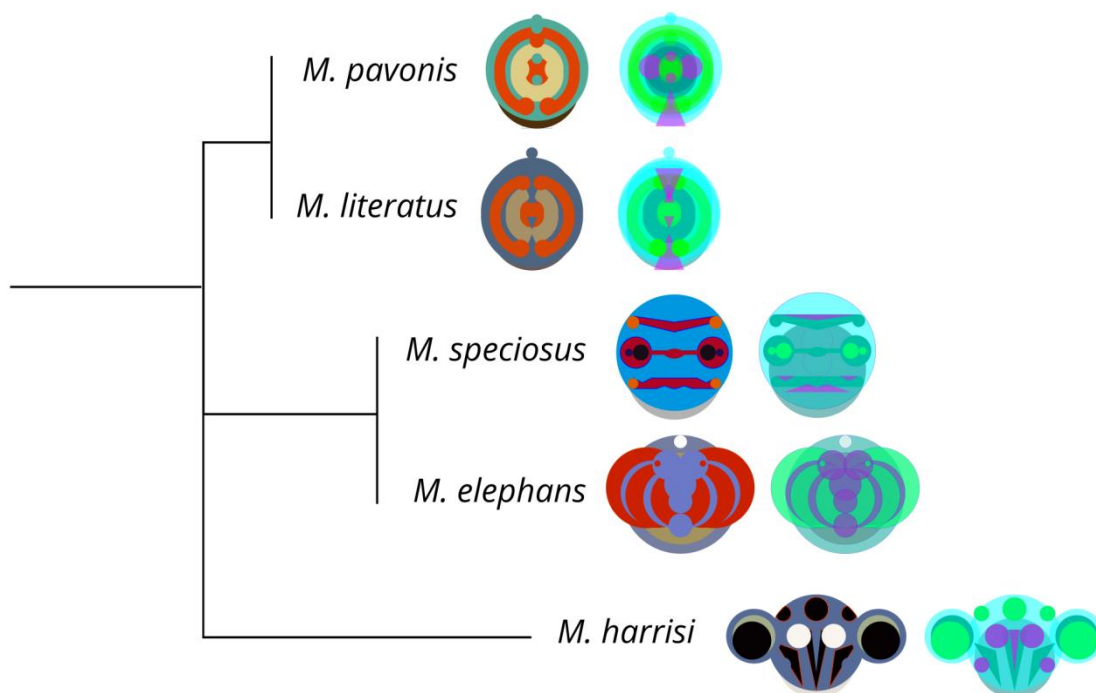


Figura 35. Filogenia y motivos en *Maratus* mostrando la relación entre especies.

Así mismo, se observa una tendencia hacia colores contrastados, es decir opuestos. En la teoría del color existen principios que sugieren que la combinación de colores opuestos se prefiere más que otras combinaciones (Heijer & Eiben, 2012). La utilización de una mayor gama de colores, permite determinar puntos focales más marcados. Estas arañas saltadoras poseen una alta sensibilidad al rango ultravioleta, por lo que la reflectancia de los patrones que poseen podrían ser importantes (Koyanagi et al., 2008). Estos colores varían con respecto a la dirección de la luz incidental y la dirección del observador (Otto & Hill, 2011).

## EVOLUCIÓN DE FORMAS

El proceso creativo es no lineal, iterativo y recursivo; no posee un fin definido debido a que existe la posibilidad de obtener varios resultados o soluciones para un mismo problema; igualmente las retroalimentaciones afectan entre si las partes del proceso, las cuales podrían definirse como inspiración, ideación e implementación. El rol del diseñador consiste en trabajar dentro del cruce de flujos de conocimiento, percepción e información con el fin de filtrar, negociar y mediar las decisiones de diseño siendo simultáneamente participante y observador en las conversaciones colaborativas a través de sus acciones y reflexiones (DiPaola et al., 2013). Las aproximaciones evolutivas que se han expuesto y discutido facilitan el dialogo con el problema a través de la accesibilidad a alternativas que podrían inspirar varias soluciones creativas (DiPaola et al., 2013).

De acuerdo con Darwin, la evolución está basada en dos principios fundamentales: la selección y la reproducción con variación (Darwin, 1860). La selección se encarga de que los individuos más aptos se reproduzcan, y que su descendencia herede sus características pero sin ser copias exactas, permitiendo así la evolución (Machado & Romero, 2011). Las variaciones resultan de los errores en la copia de los genes, de sus mutaciones, y de la recombinación del material genético de los progenitores. Tomando estas ideas, Richard Dawkins definió un programa que permite la evolución de la morfología de criaturas virtuales a los que denominó biomorphs (Dawkins, 1987). Su apariencia depende de parámetros codificados en un genotipo, y la selección de los individuos en la población se realiza a través de la interacción con el usuario. Este trabajo influenció el desarrollo de una nueva área de investigación: el diseño y arte evolutivo que se ha aplicado en diferentes campos incluyendo la evolución de rostros, tipografías, dibujos, superficies y productos comerciales (Machado & Romero, 2011). En estos ejemplos los modelos y parámetros de evolución son definidos en un

código genético a través de un lenguaje visual por el diseñador del sistema; es decir la creación de un modelo paramétrico implica el desarrollo de un espacio de posibles diseños o soluciones (Machado & Romero, 2011).

La investigación llevada a cabo permitió desarrollar una metodología aplicable para el diseño inspirado en la naturaleza; posibilitando una apreciación de la forma mucho más cercana a la realidad, que se aleja de una reproducción superficial que lo que se observa a simple vista. Se ha buscado entender la historia evolutiva de cómo pudieron surgir las formas a través de la aplicación de análisis evolutivos y ejercicios morfológicos en combinación con estudios cromáticos estadísticos, obteniendo una forma de trabajo basada en métodos científicos fácilmente aplicables a las diferentes ramas dentro del diseño.

La mayoría de metodologías utilizadas en el diseño toman en cuenta el usuario final, el objeto final o la experiencia alrededor de este, con un componente antropocéntrico muy importante. La aproximación que aquí se presenta busca combinar una metodología más científica. Si bien por lo general el diseño y la ciencia no se encuentran vinculados de una manera directa en las prácticas sociales, ambos campos pueden considerarse como acciones de inteligencia humana que buscan solucionar problemas o ser exploratorios, por lo cual parecerían tener mucho en común (Galle & Kroes, 2014). El diseño se caracteriza por sus soluciones creativas e innovadoras a diferentes tipos de problemas, mientras que la ciencia busca resolver problemas difíciles y profundos a través del entendimiento de nuevos dominios; ambas ramas poseen metodologías o procesos muy similares para solucionar sus problemáticas si se los analiza de una manera más abstracta (Farell & Hooker, 2015). Es por ello que luego de la segunda guerra mundial la Escuela de Ulm de Diseño en Alemania fue pionera en combinar la ciencia y el diseño con una pedagogía basada en la utilización de métodos científicos y técnicos (Wong & Chou, 2013), la cual sigue siendo válida en la

actualidad. La implementación del conocimiento científico y sus efectos en la sociedad es parte de los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), donde la aproximación del diseño a este campo de estudios es muy reciente, pero resulta muy beneficioso debido a que puede nutrirse y aprender de las herramientas y filosofías con las que los científicos realizan sus investigaciones (McHardy & Jungnickel, 2013). Los estudios en diseño pueden tomar los vínculos entre ciencia y tecnología expandiendo su temática de investigación e integrar conocimientos de diferentes campos para enfrentar diferentes requerimientos (Wong & Chou, 2013).

En una aproximación práctica a esta metodología se planteó desarrollar un objeto inspirado en la naturaleza que permita a sus usuarios aprender aspectos importantes relacionados con el organismo modelo. Se determinó diseñar un juguete de ensamblaje educativo inspirado en una araña viuda negra, con la intención de educar y concientizar a las personas sobre el rol e importancia de estos organismos en su ecosistema incentivando a la conservación del medio ambiente donde habitan.

Se ha determinado que la mejor manera de aprender es mediante lo lúdico, y esto se aplica tanto a niños como adultos (Hinske et al., 2008). En el caso de los juguetes de ensamblaje, el aprendizaje es activo, debido a que el conocimiento se experimenta directamente, se lo construye, se lo pone a prueba y se lo rectifica por quien lo aprende (Holzer, 1994). Así mismo, promueve el desarrollo de habilidades de observación e investigación mediante un pensamiento elevado en la toma de decisiones y solución de problemas (Sirinterlikci et. al., 2009). Se ha logrado determinar algunos aspectos importantes para desarrollar un sistema de aprendizaje exitoso, como son: el desafío (metas claras y fijas relevantes para el usuario, que promuevan la competencia con una retroalimentación comprensiva), el control (sensaciones de control y determinación a través de elecciones), y la

iteración (la repetición apoya el aprendizaje alentando la experimentación) (Hinske et al., 2008). Adicionalmente este tipo de juguetes contribuyen en el intercambio de conocimiento y valores culturales (Barreto et al., 2013), así como a la idea de que las cosas se pueden hacer de una manera diferente, promoviendo un acercamiento positivo hacia el cambio (Gauntlett, 2014).

## **El objeto y sistema**

El juguete propuesto es parte de un sistema que incluye una aplicación móvil que complementa la experiencia de juego. Se ha señalado que la experiencia de aprendizaje lúdico ideal en un sistema de realidad mixto es una mezcla de experiencia física, contenido virtual e imaginación del usuario (Hinske et al., 2008). Al tratarse de un juguete de ensamblaje es necesario que posea una guía gráfica que señale como deben ensamblarse las piezas para armar el objeto final. Para evitar que el usuario solo siga las instrucciones, se planteó reemplazar esta guía por una aplicación móvil, en la cual a través de un sencillo juego de observación con tiempo limitado se muestran los pasos necesarios para armar la araña en diferentes niveles, a la vez que se muestra cierta información y aspectos interesantes sobre el organismo. De esa manera el usuario cumple el objetivo de armar el juguete, pero aprende otro tipo de información adicional relacionada en el proceso. El objetivo de este tipo de juguetes se debe centrar en la interactividad y en la experiencia del usuario; así las principales metas del diseño del juego deben ser: diversión, inmersión, compromiso, retos físicos y mentales, estímulos emocionales y creatividad (Hinske et al., 2008). Adicionalmente por sí solo, el juguete permitiría al usuario explorar diferentes alternativas de ensamblajes y encontrar las formas adecuadas mediante prueba y error. Por lo que se recomienda que el juguete deba basarse en el juego y no en la tecnología. El juego que aporta el juguete deber ser atemporal, cuya actividad debe ser divertida y agradable por sí misma; la tecnología

únicamente debe aumentar o mejorar el deseo de jugar (Kudrowitz, 2014). Por esa razón la aplicación se puede considerar como un complemento adicional al juguete de ensamblaje que aporta un valor educacional dirigido hacia la conservación.

## **Diseño del juguete**

Una vez determinados los objetivos del juguete y la aplicación, se tomó como base las guías universales para el diseño de juguetes (Hinske et al., 2008); las cuales señalan que:

1. El juguete debe ser atractivo. El diseño debe comunicar efectivamente toda la información referente al juego u objetivo final.
2. Especificar claramente como jugar con el juguete. Debe poseer un diseño simple que facilite el uso del juguete.
3. El juguete se ajusta a un rango de usuarios. El resultado que se puede obtener con el juguete puede variar y así atraer a usuarios con diferentes habilidades.
4. El juguete debe fomentar el desarrollo físico y cognitivo. Se lo puede conseguir a través de diferentes formas o alternativas de jugar.
5. La motivación es fundamental para el aprendizaje. La interacción con el juguete, y en este caso la información, debe ser atractiva, gratificante, cautivadora y divertida.

Un juguete modular permite al usuario utilizar su propia creatividad en el proceso de construcción; por lo que cada pieza individual debe ser relativamente versátil mientras mantiene su simplicidad (Milne & Taylor, 2001). Por lo que en vez de diseñar piezas especializadas con pocos usos, se buscó diseñar piezas que permitan al usuario crear modelos diferentes al sugerido. Para ello se tomó como referencia las normas que utiliza LEGO para sus sistemas (Gauntlett, 2014), en donde se especifica:

1. Debe estar formado por partes interconectadas. Las uniones son sencillas y a veces se dan en formas inesperadas.
2. Debe poseer un nivel de destreza básico. Cualquier persona puede tomar el sistema y crear algo satisfactorio.
3. Debe ser un medio de perfeccionamiento. El sistema puede usarse para crear algo simple o algo complejo.
4. Debe poseer la habilidad para crear algo de la nada. La imaginación se sobrepone a la preparación, planeación o experiencia previa.
5. Debe consistir en un sistema abierto con posibilidades infinitas. Las partes que lo conforman pueden combinarse en formas ilimitadas.
6. Debe poseer un potencial imaginativo para que la persona pueda expresarse a través del sistema.
7. Debe tener como valor el juego creativo. El juego como un vehículo importante para el aprendizaje y la exploración.
8. Debe fomentar un ambiente de apoyo. La experimentación no produce consecuencias negativas, sino más bien se fomenta la investigación.

Tomando las guías y normas antes expuestas el juguete se desarrolló primero con base en un análisis morfológico de las proporciones corporales de la araña, para luego ser traducidas a piezas interconectables.

#### **Análisis morfológico-geométrico.**

Para realizar el análisis morfológico-geométrico, se obtuvieron fotografías de algunas especies de viuda negra (género *Latrodectus*) en la clave de arañas de Nueva Zelanda

(Marinov et al., 2014). Las especies estudiadas fueron *L. geometricus*, *L. hasseltii*, *L. hesperus*, *L. katipo*, *L. mactans*, *L. tredecimguttatus*, *L. variolus*. Las imágenes utilizadas correspondieron al plano dorsal, ventral y lateral, únicamente de especímenes hembras.



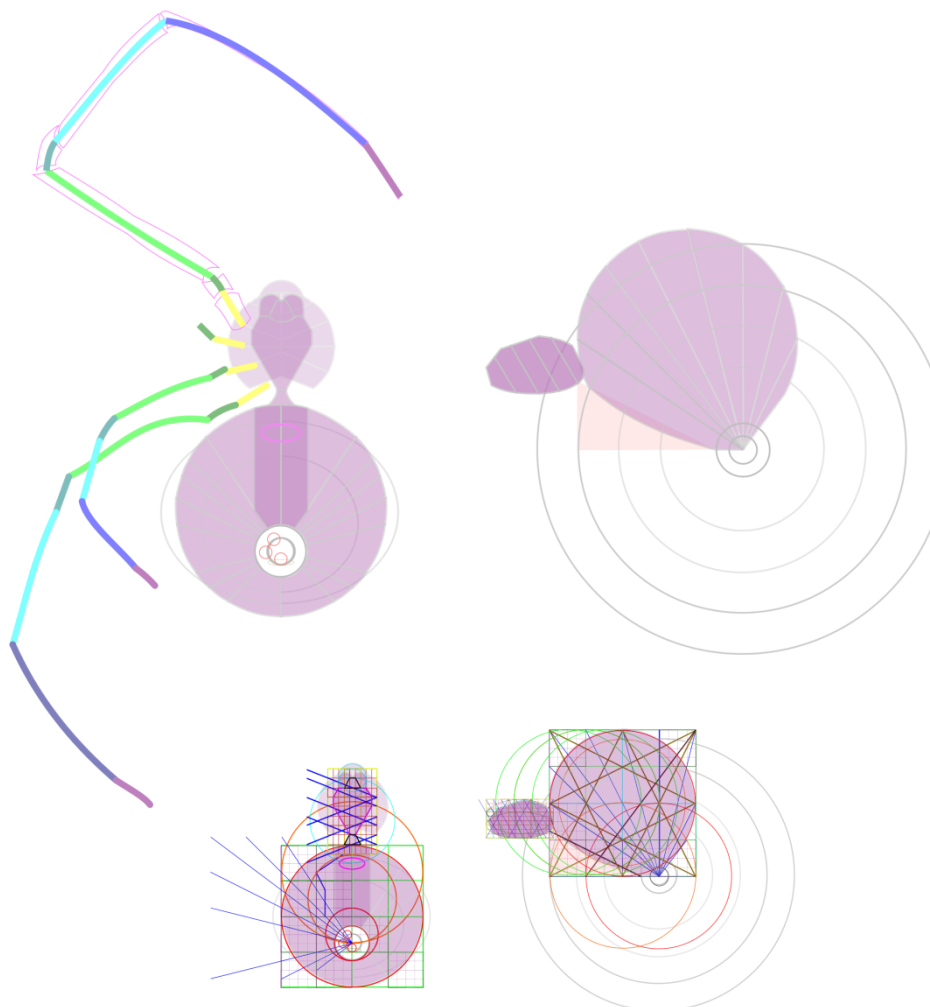
*Figura 36. Arañas viuda negra hembra utilizadas para análisis morfológico.*

Revisando la bibliografía se encontró que biológicamente el cuerpo de una araña está formado por 7 segmentos, mientras que existen 13 segmentos en el abdomen. Las patas están formadas por siete segmentos, cuya longitud varía en cada pata. De esa manera se determinó a priori las diferentes partes que forman cada estructura. En cada una de ellas se aplicó la metodología de análisis geométrico presentada en el capítulo anterior.

El análisis en el abdomen comenzó con un cuadrado de unidad 1 cuyo lado era igual a la distancia entre la unión del peciolo hasta el final del abdomen en el plano lateral. Se procedió a dividir el cuadrado mediante un coeficiente de división por mitades, obteniendo diferentes círculos que reflejaban la estructura real. Aprovechando la propiedad de simetría se trazó uno de los lados y se lo reflejó para obtener todo el abdomen. El análisis del cuerpo comenzó con un cuadrado de unidad 1 cuyo lado era igual a la altura del cuerpo. Al cuadrado se lo desarrolló en un rectángulo dinámico de raíz 3 que cubrió todo el largo de la estructura.



Se realizaron las mismas divisiones en el plano lateral, dorsal y ventral. El análisis de las patas se obtuvo mediante la relación de proporción entre los diferentes segmentos que las conforman, así como los tamaños de los mismos entre las diferentes patas.



*Figura 37. Resultado del análisis morfológico-geométrico.*

#### **Diseño de piezas del juguete.**

A partir de los análisis morfológico-geométricos, se realizaron una serie de bocetos identificando de manera simple las posibles piezas que permitirían obtener las mismas estructuras.

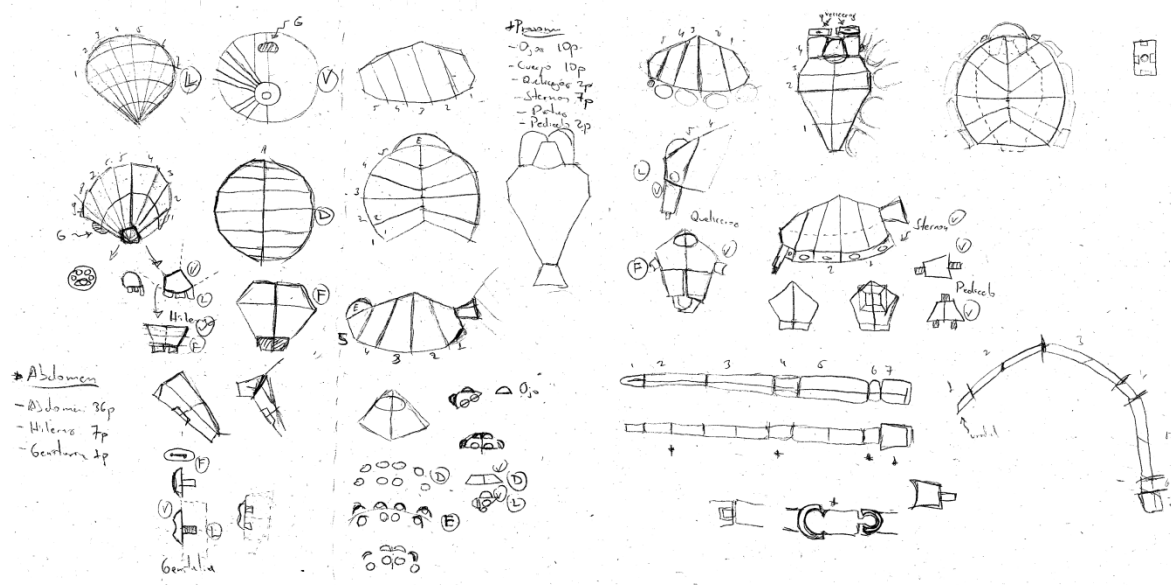


Figura 38. Bocetos a lápiz de las piezas del juguete, separadas por partes anatómicas.

En base a los primeros bocetos se separaron las diferentes estructuras en las partes anatómicas que las conforman tomando como referencia la biología de la araña. Así, al abdomen se lo dividió en abdomen, hileras y genitalia. Al cuerpo se lo dividió en ojos, cuerpo, quelíceros, esternón, patas y pedicelo. Se definió el número, posición y forma de unión de las piezas que conforman cada estructura.

Las uniones de las piezas poseen un diseño simple, con una forma casi cilíndrica. Se determinó un tamaño estándar para la mayoría de uniones, con excepción de las piezas donde su tamaño no lo permitía. De esa manera las diferentes piezas que conforman el juguete no poseen una forma directa de ensamblarse, sino que más bien apelan a la inventiva e imaginación del usuario, permitiéndole interconectarlas de diferentes maneras. En el caso de las patas, estas presentan un tipo de unión diferente a manera de bisagra, que está basada en las articulaciones reales de la araña; permitiendo la posibilidad de colocar cada pata en una posición diferente otorgándole mayor movilidad que al resto de piezas.

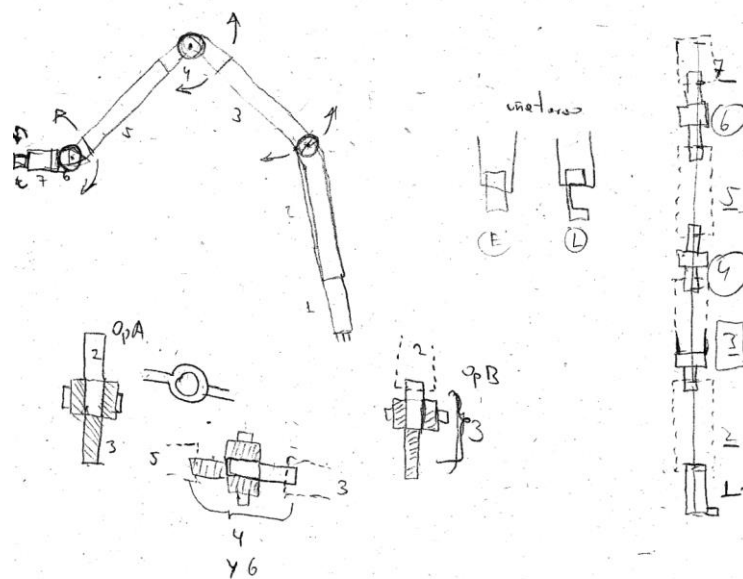


Figura 39. Bocetos lápiz de las uniones de los segmentos de las patas.

Posteriormente, los bocetos realizados se los llevó a un entorno 3D para modelar cada pieza de forma individual, y así poder determinar el tamaño total del juguete.



Figura 40. Visualización 3D del juguete y de las piezas que lo conforman.

Para la fabricación se escogió la impresión en 3D como una opción factible para

desarrollar el prototipo. El material de impresión fue plástico PLA que le otorga resistencia y ligereza. A nivel cromático, se buscó representar los colores naturales que presenta la araña, por lo que las piezas fueron impresas en color negro. Las limitaciones de resolución (tamaño mínimo 4mm y grosor mínimo 1mm) de la impresora 3D a la cual se tuvo acceso, dificultó que ciertas piezas como los ojos e hilera fueran impresas, por lo que tuvieron que ser eliminadas para ser pintadas posteriormente. Estas limitaciones también determinaron que el tamaño del prototipo impreso sea mucho mayor al del juguete propuesto.



*Figura 41. Piezas impresas mediante impresora 3D.*

## **Diseño de la aplicación**

El diseño de la aplicación comenzó con una investigación de aplicaciones relacionadas a temas de naturaleza y conservación, con el propósito de entender como se muestra la información y desde que perspectiva se lo hace. Las aplicaciones más relevantes fueron *WWF Together* y *Wilderquest Nature Discovery* que poseen gráficas llamativas con un soporte y despliegue de la información que se muestra a través de métodos e interacciones lúdicas.



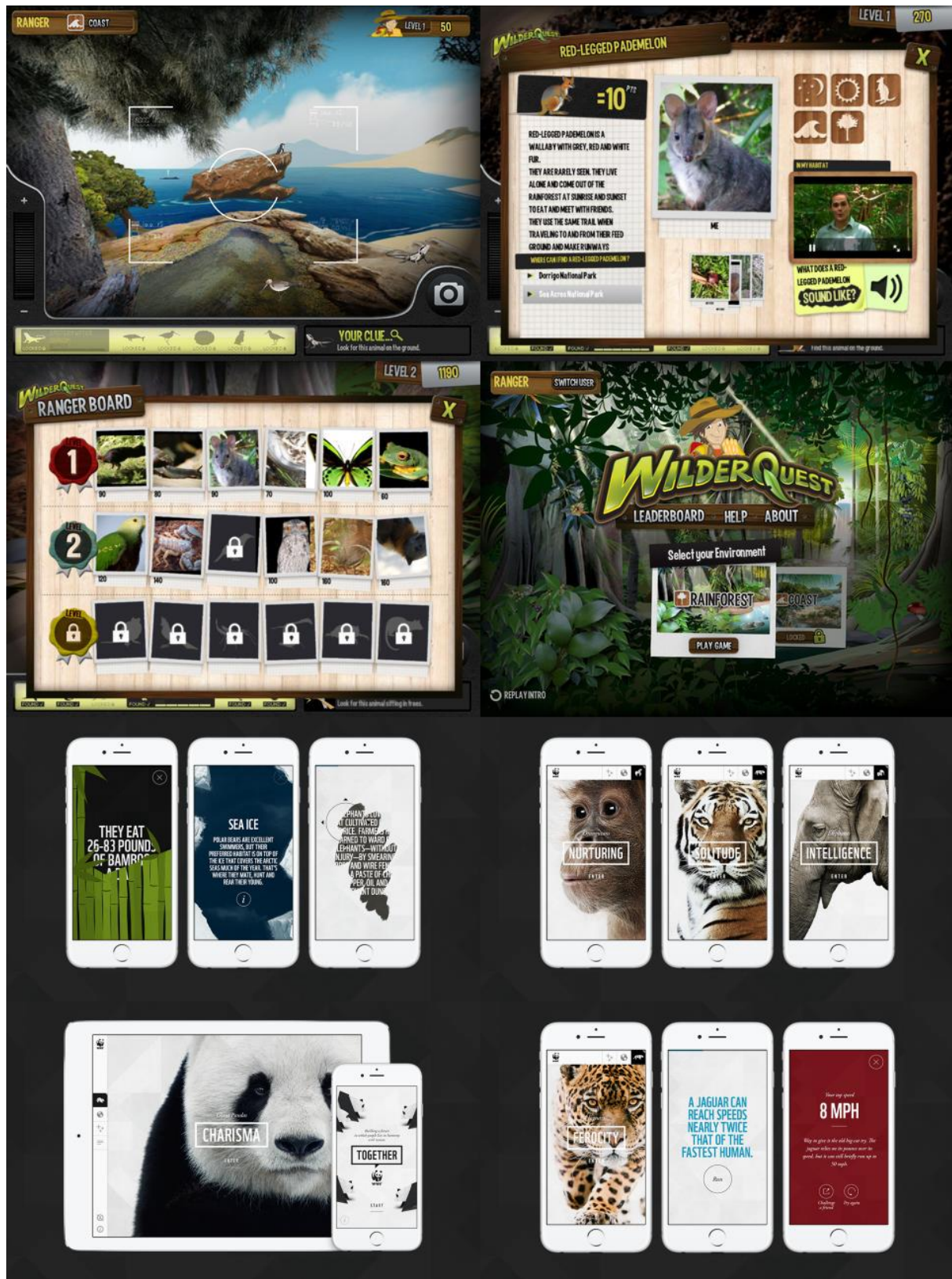


Figura 42. Aplicaciones de referencia para visualización de contenidos.

La estructura de la información de la aplicación se dividió en dos secciones: una con el juego para ensamblar la araña y otra con información general sobre la viuda negra. La primera sección constituye el juego que posee cinco niveles para armar completamente el juguete; cada nivel está formado por dos actividades: observar la estructura y responder una pregunta relacionada. El usuario necesita completar ambas actividades para desbloquear el siguiente nivel. La actividad de observar la estructura consiste en analizar las diferentes piezas que constituyen la imagen que se muestra por un tiempo limitado luego del cual se bloquea, el usuario tiene que armar correctamente dicha estructura y escanearla con su dispositivo móvil para completar la actividad. En la actividad de responder, al usuario se le presenta una pregunta de opción múltiple relacionada con la estructura de ese nivel. Si contesta correctamente, se completa la actividad y se muestra información que complementa la respuesta correcta. Si el usuario no conoce la respuesta, puede ingresar a un área donde existe información a manera de texto o vídeos sobre el tema a tratar; de esa manera el usuario puede informarse y regresar a contestar la pregunta. La segunda sección contiene diferentes tipos de información relacionados con el hábitat, alimentación, reproducción, ecología, importancia y prevención que permiten conocer de una manera más completa al organismo. En esta sección toda la información se presenta a manera de textos, imágenes, vídeos y datos curiosos.

Una vez definidas las diferentes secciones que contiene la aplicación, se realizó el mapa de flujo de la aplicación. El objetivo del mapa es poder visualizar la estructura y todas las opciones que posee la aplicación de una manera ordenada y jerárquica. De esta manera se busca simplificar las acciones, minimizando el número de pasos que el usuario necesita realizar para completar una determinada tarea.

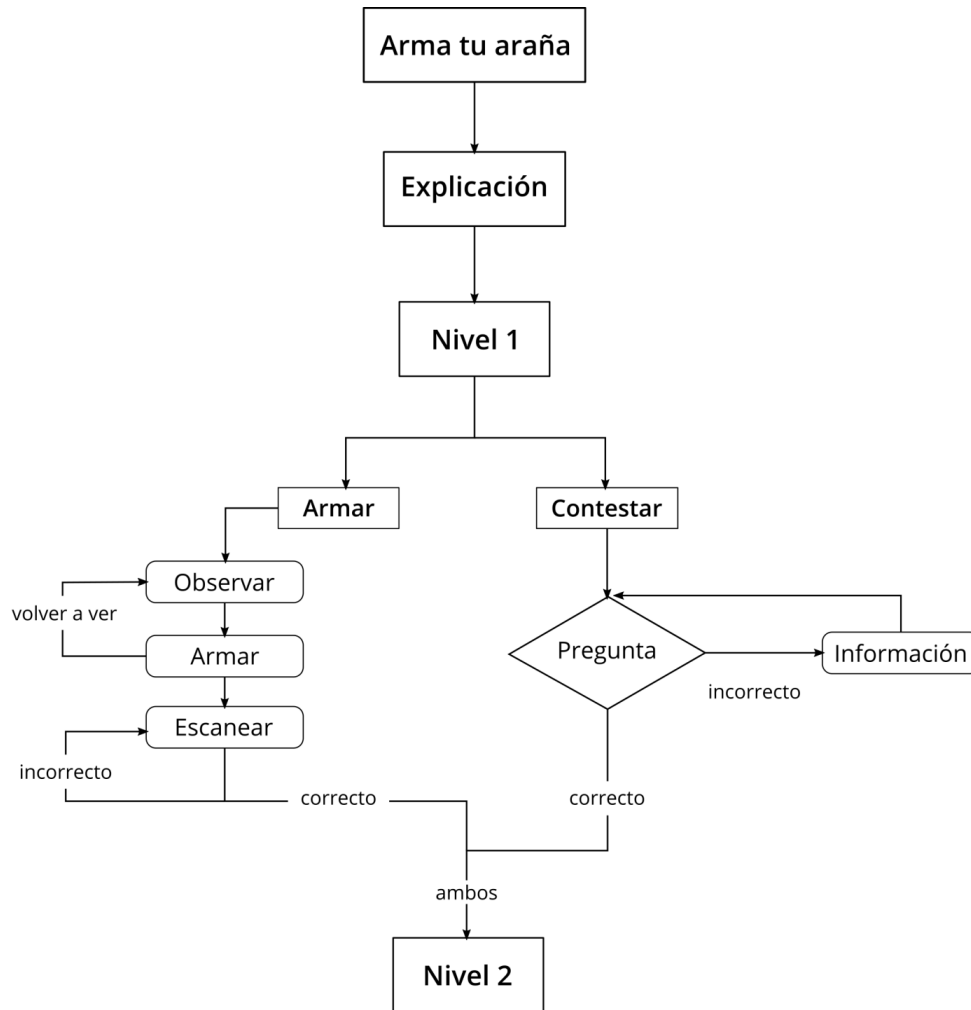


Figura 43. Mapa de flujo de la sección de juego dentro de la aplicación.

Definido el mapa, se procedió a realizar bocetos de cómo podrían ubicarse los diferentes elementos en la pantalla, probando diferentes ideas de diagramación e ideas para la navegación dentro de cada sección. En este punto se analizó la experiencia de usuario tomando como referencia las acciones que se pueden realizar, enfatizando la facilidad y claridad con que se presenta la información.



Figura 44. Wireframes de las diferentes pantallas de la aplicación.

Se realizó un moodboard para definir el look&feel de la interfaz de usuario. Estas imágenes contenían elementos que fueron de inspiración para mejorar la diagramación, o para encontrar soluciones más creativas a como se presenta la navegación.



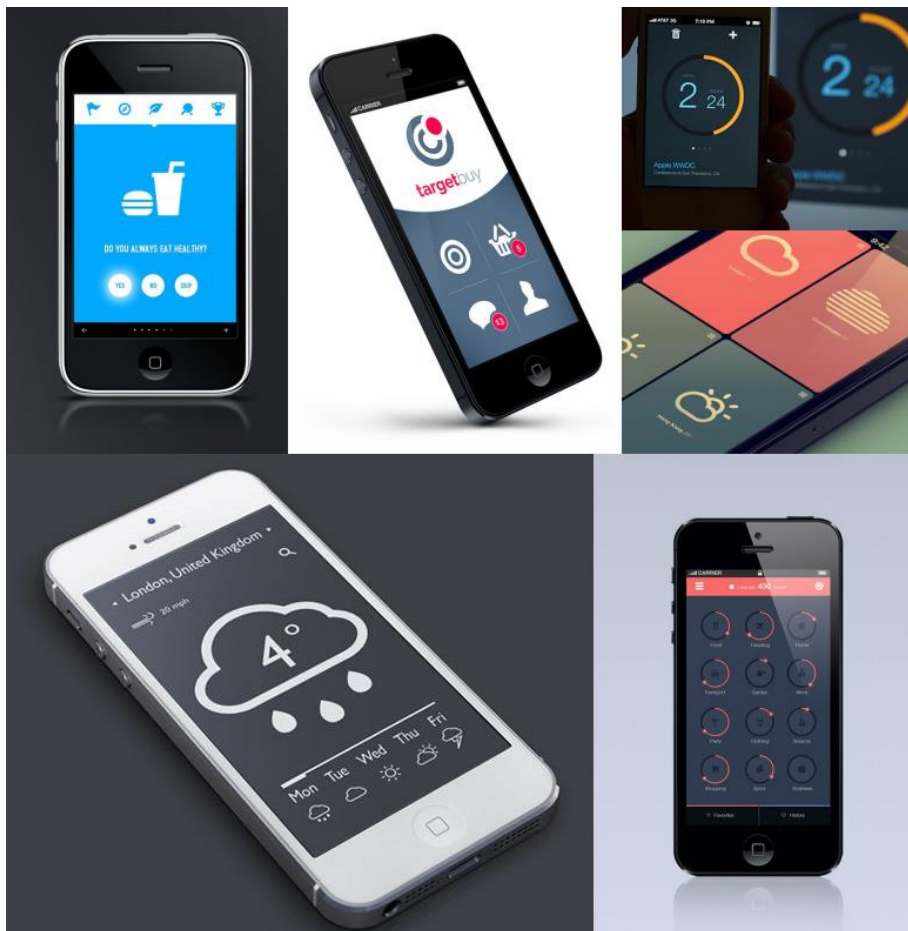


Figura 45. Moodboard de referencia para definir el look&feel de la aplicación.

Para la elección de la tipografía se realizó una rápida investigación de las fuentes más utilizadas en sistemas operativos y aplicaciones móviles. Además se consideró características como legibilidad en diferentes tamaños de pantallas, distintos pesos, y un estilo futurista pero simple. Se obtuvieron tres candidatas: Roboto (utilizada por Google), Open sans y Lato. De estas opciones se escogió Open Sans por ser una fuente versátil al poseer varios pesos, se renderiza bien en pantallas de diferentes tamaños, y por ser la fuente predeterminada para la mayoría de proyectos open source. La diagramación de las diferentes pantallas estuvo basada en una malla de 12 columnas. Para la cromática se utilizó las paletas de color realizadas en el capítulo anterior para el género *Latrodectus*, definiendo tonos contrastantes y legibles para los textos, y colores saturados para mensajes de alerta o hipervínculos.

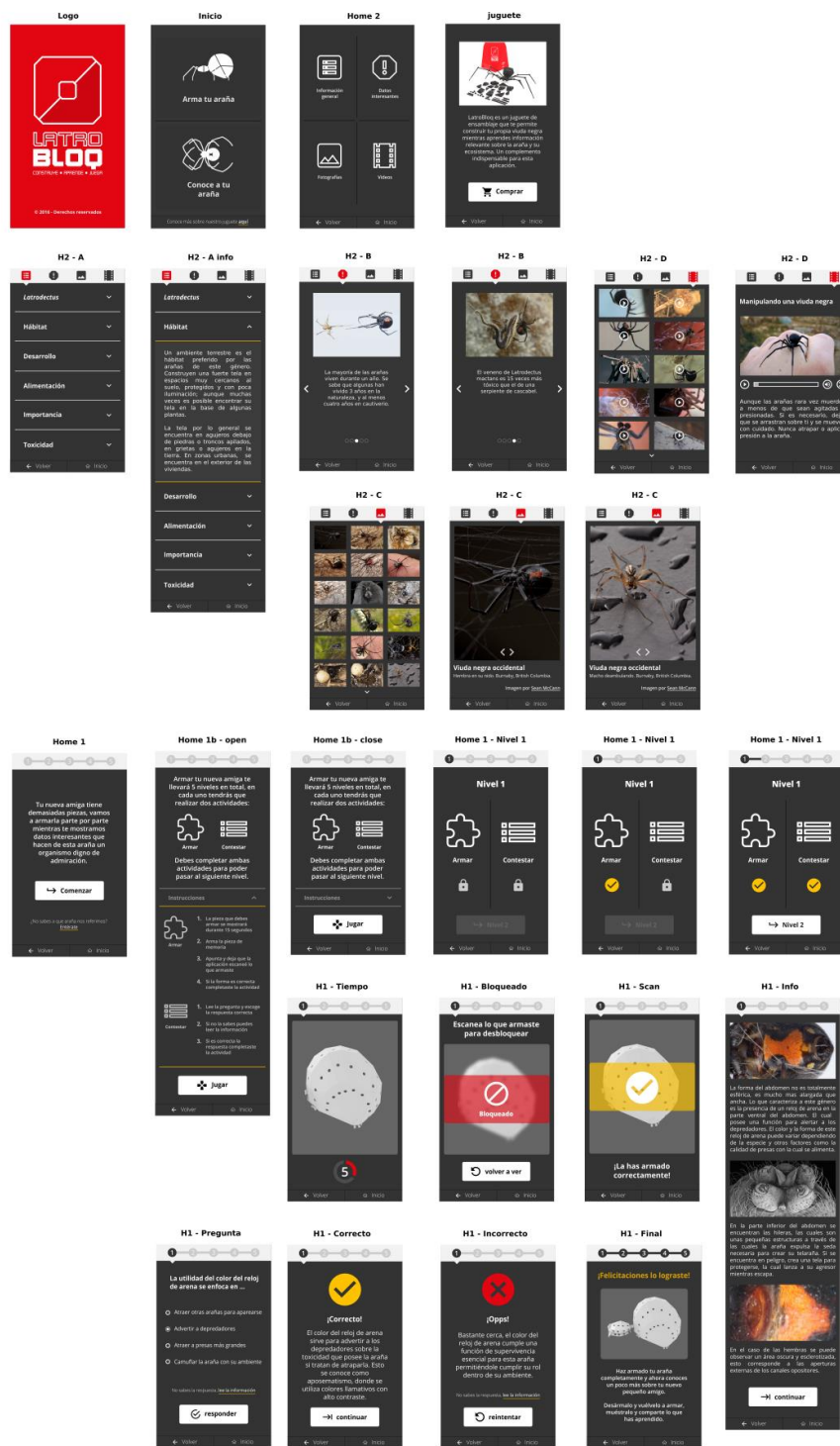


Figura 46. Diseño final de las pantallas que conforman la aplicación.

Los iconos y elementos que constituyen las diferentes interfaces de la aplicación siguen el concepto de línea y plano, por lo que representa figuras geométricas básicas. La

mayoría de iconos fueron obtenidos de la librería de Material Design liberada por Google con licencia CC-BY.



Figura 47. Iconos de Material Design por Google (CC-BY) utilizados en la aplicación.

Se consideró que la aplicación puede funcionar como una segunda puerta de entrada para que el usuario conozca el juguete, suponiendo que el usuario descubriera la aplicación en la web, por lo que se agregaron pantallas que explican la relación entre el juguete y la aplicación, y a través de qué medios es posible conseguir el juguete.

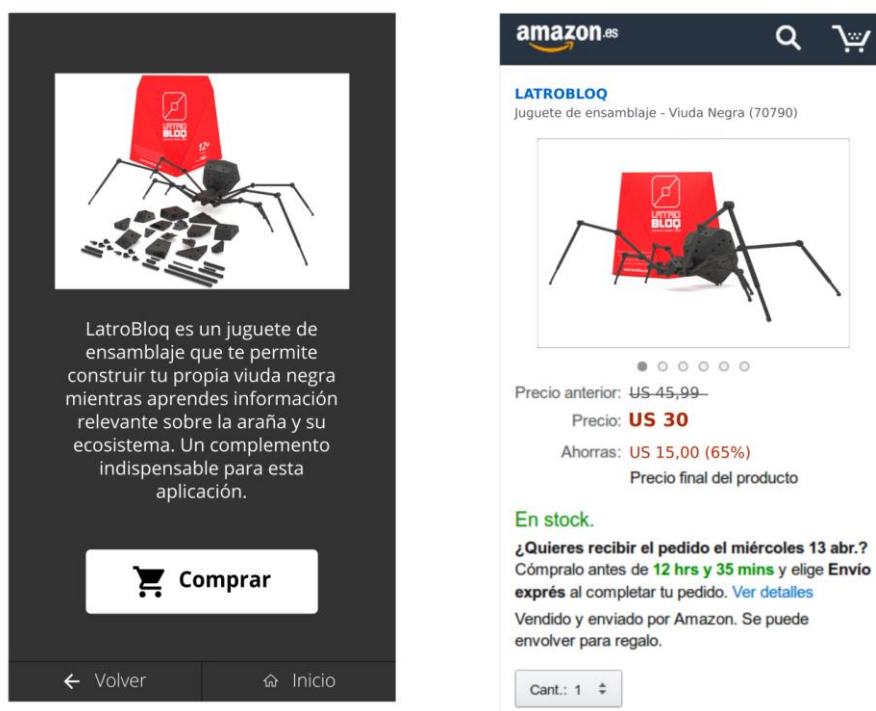


Figura 48. Pantallas de la aplicación con información sobre cómo conseguir el juguete.

## Diseño de marca

Para el diseño de marca del juguete se buscó comunicar conceptos relacionados con araña, viuda negra y ensamblar, unir y armar. En base a lo anterior se buscó un nombre que represente la esencia del juguete, optando por “LatroBloq”, que es una mezcla de *Latrodectus* (genero de las arañas viuda negra) y Bloque (haciendo referencias a las piezas del juguete). De esta manera el nombre condensa y expresa de manera sutil que se trata de un juguete de ensamblaje de una viuda negra. La determinación del slogan está basada en los principios que debe tener este tipo de juguete, llegando a ser “Construye, aprende, juega”, denotando claramente las actividades que propone y que son posibles a través de la interacción con el juguete.

El desarrollo del logotipo está basado en los conceptos antes expuestos, y busca reflejar valores de solidez, fortaleza y dinamismo. El isotipo desarrollado es una abstracción

de las formas y uniones de las piezas que conforman el juguete, reflejando la idea de ensamblaje. A nivel cromático la marca posee un color rojo principal, y colores negros, grises y blancos como secundarios. Al color amarillo se lo utiliza únicamente como punto de contraste. Se determinó esta paleta en base a los análisis cromáticos realizados en las distintas especies de viuda negra.

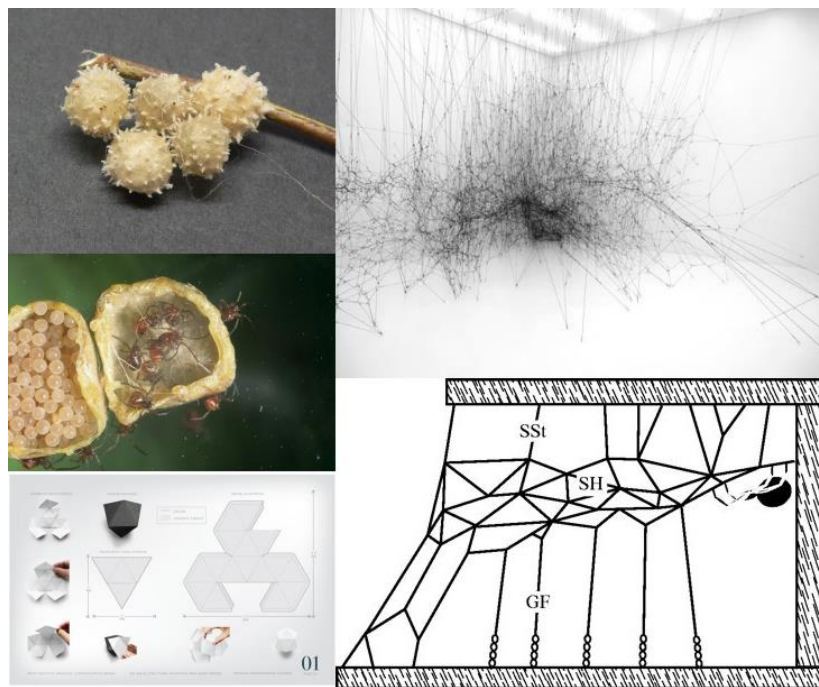


*Figura 49. Logotipo del juguete, y sus variantes cromáticas.*

## **Diseño de empaque**

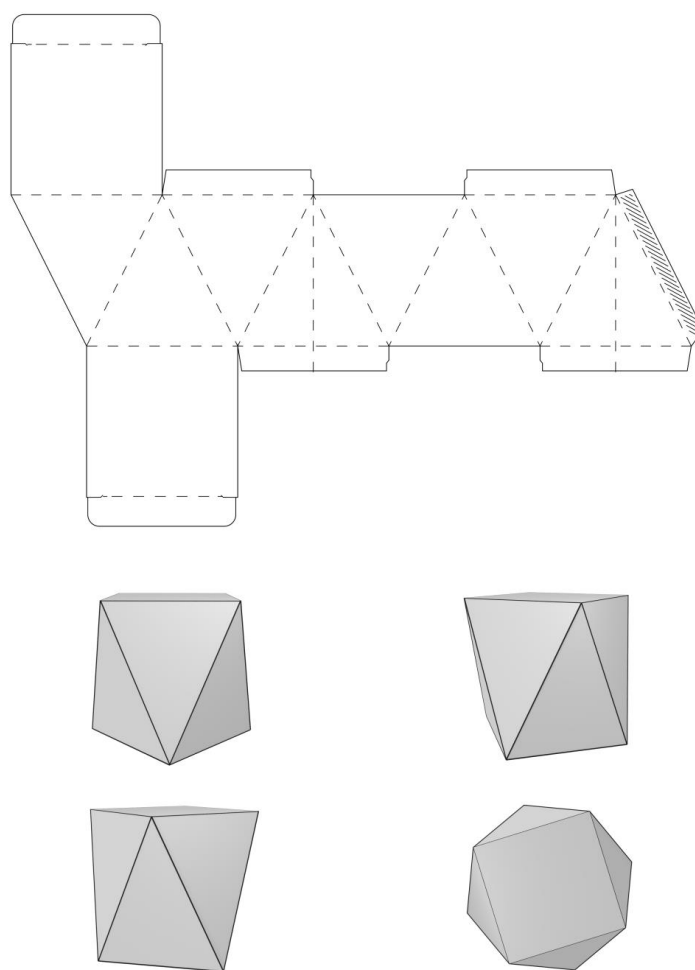
El diseño del empaque está inspirado en la forma del saco de huevos de una viuda negra, el cual posee una forma esférica con proyecciones triangulares, dentro del cual se

encuentran protegidos los huevos. Otra inspiración fue la disposición de la telaraña de este género, la cual posee una estructura tridimensional con hilos que se irradian en diferentes direcciones. A nivel formal, también se buscó que el empaque represente la forma de las piezas del juguete.



*Figura 50. Referencias para el diseño de empaque basado en la naturaleza.*

El diseño tomó como base un cubo, al cual se lo distorsiono en su eje vertical para obtener caras conformadas por triángulos con bordes y ángulos pronunciados; asemejando las piezas del juguete pero que en conjunto forman una estructura de protección.



*Figura 51. Troquel del empaque para el juguete, y visualización 3D de su forma.*

La cromática utilizada cumple dos propósitos: contrastar con las piezas del juguete, y llamar la atención del consumidor de una manera enérgica y fuerte; por lo que se prefirió la utilización del color principal de la marca. La información presente en el empaque cumple con los requisitos en este tipo de juguetes donde se muestra el rango de edad del público objetivo, el número de piezas, donde fueron ensambladas e información de advertencia de partes pequeñas. Adicionalmente se encuentra un texto de explicación sobre el juguete, y un link directo a través de un código QR para la descarga de la aplicación.





Figura 52. Visualización 3D del diseño del empaque.

## Plan comercial

Para desarrollar el plan comercial del juguete, es necesario determinar la edad apropiada del público al cual va dirigido. Para determinar esta edad se tomó como referencia los requerimientos propuestos por la Comisión para la Seguridad de los Productos de



Consumo de los Estados Unidos (CPSC). El documento señala 14 características de un juguete que pueden usarse para determinar el rango apropiado de edad de los consumidores, basándose en: tamaño, forma, número de partes, piezas interconectadas vs. sueltas, materiales, habilidades requeridas, color vs. contraste, causa y efecto, elementos sensoriales, nivel de realismo o detalle, autorización, clásico, características robóticas y aspecto educativo (Martin, 2007). La CPSC asegura que los niños entre 6 y 8 años desarrollan las habilidades cognitivas necesarias para seguir indicaciones o instrucciones y son capaces de entender una secuencia de pasos, por lo que son capaces de manipular objetos de ensamblaje. Sin embargo, la CPSC señala que el tamaño y número de partes son las características más influyentes para determinar el rango de edad apropiado. Es por ello que se consideran apropiadas para los niños de 12 años en adelante, 100 o más piezas por sobre los 2 centímetros en tamaño y con variedades en formas y materiales (Martin, 2007). Tomado como consideración lo antes expuesto, donde el juguete “LatroBloq” contiene 168 piezas, algunas de las cuales miden menos de 1 cm; se determinó que el público objetivo comprende las edades de los 12 años en adelante.

Determinar el costo del juguete y su valor de venta al público no es posible ya que solo se cuenta con el prototipo. Para una reproducción de manera masiva, se involucran otros procesos para obtener las piezas a través de moldes cuyos costos no se pueden conocer hasta no realizar las pruebas respectivas. Pero tomando como referencia a juguetes similares que se encuentra en el mercado, el número de piezas que contienen y la complejidad del juguete, el valor sugerido de venta al público podría oscilar entre los \$30 a 40 dólares. En concordancia con la motivación de fomentar la conservación, un porcentaje del valor del juguete es donado a la Fundación Otonga para la conservación de los bosques en las áreas del Chocó, Andes y Amazonía del Ecuador.

A nivel comercial, el producto cuenta con una página web como eje central; donde se muestra al juguete, sus características, el objetivo detrás del mismo, como funciona la aplicación y que información presenta. Así mismo, a través de qué medios es posible adquirir el juguete y descargar la aplicación.

**LATRO BLOQ** Inicio Juguete Aplicación

**Desármalo y vuélvelo a armar, muéstralo y comparte lo que has aprendido**

LatroBlox es una jugadora de aprendizaje que te permite compartir tu conocimiento, mostrar lo que sabes hacer, enseñar a otros y aprender de ellos.

**Construye, aprende, juega**

LatroBlox es un juguete de aprendizaje que te permite aprender de manera divertida y creativa. Este juguete está diseñado para que puedas aprender de manera divertida y creativa. Este juguete está diseñado para que puedas aprender de manera divertida y creativa.

**Juguete**

El juguete permitirá al usuario explorar diferentes alternativas de ensamblaje y encontrar las formas adecuadas mediante pruebas y error.

Plataforma
Dispositivos móviles
Aplicaciones
Redes de integración

**Obtener LatroBlox**

*Al obtener el juguete LatroBlox estás apoyando con un 1% de la producción de los zapatos hechos a mano en Ecuador.*

**Aplicación**

**Cambia tu manera de jugar**

Tu forma de jugar cambia con el juguete LatroBlox. Este juguete te permite aprender de manera divertida y creativa. Este juguete está diseñado para que puedas aprender de manera divertida y creativa.

**LATRO BLOQ**

**Adquiere lo ya!**

© 2018. Todos los derechos reservados. LatroBlox

Figura 53. Diseño de landing page para el juguete y su sistema.

El juguete va a ser comercializado de manera virtual a través de tiendas en línea como Amazon, a manera internacional, y Yaesta.com a nivel de Ecuador.

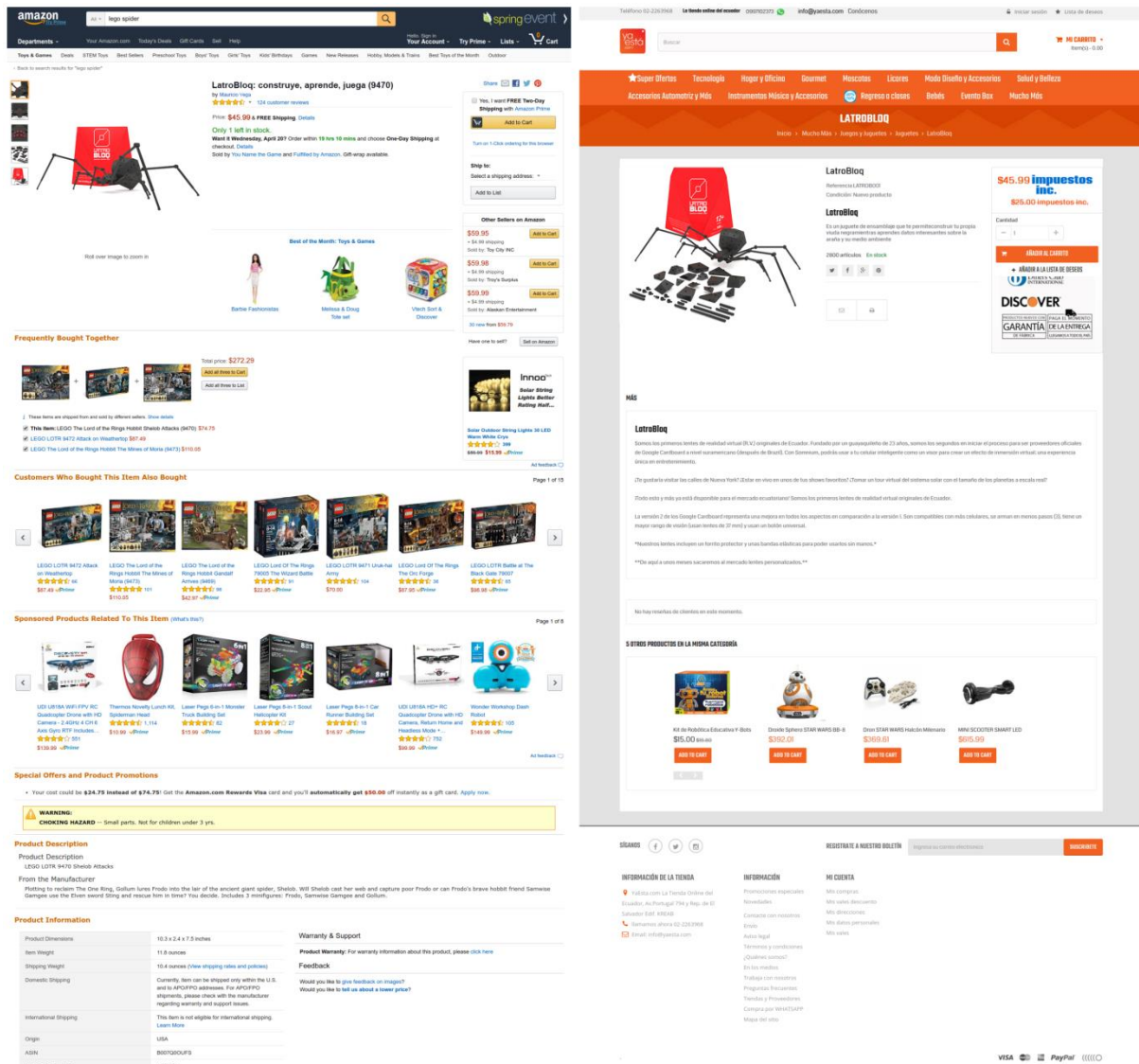


Figura 54. Montaje de plataformas en línea para la venta del juguete.

La aplicación es de libre descarga, y se distribuye a través de las diferentes tiendas como App store, Google play y Microsoft store.

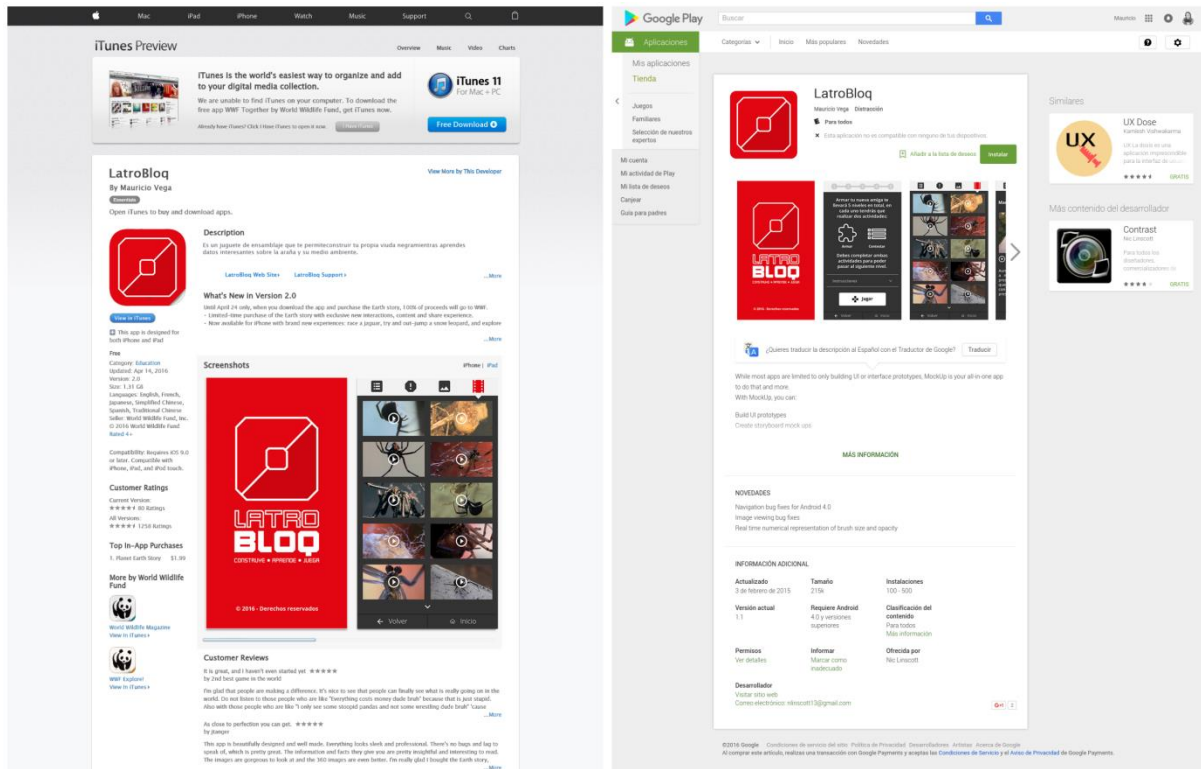


Figura 55. Montajes de plataformas para la descarga de la aplicación.

## Validación del juguete

Utilizando el prototipo del juguete se realizó una corta validación de todo el sistema con el usuario final. Se le presentó el empaque, se observaron sus acciones y comentarios mientras manipulaba las piezas y utilizaba la aplicación. Una vez que armó el juguete completo se le pidió sus observaciones sobre de toda la experiencia. Sus comentarios finales señalaron que:

“El juguete fue una experiencia interesante porque permite la posibilidad de conocer a estos animalitos de forma que normalmente no lo haríamos. El hecho de tener la gran cantidad de piezas invita a la curiosidad, a imaginarse como quedaría y qué piezas podrían formar estructuras reales. La aplicación aporta un valor adicional a la experiencia de juego, porque permite interactuar con el objeto físico (piezas), y a la vez comprender cómo estas piezas emulan a las estructuras reales que cumplen una función en el animalito. También aporta con

conocimientos científicos de una manera más accesible para quienes no conocemos del tema de cómo funcionan, viven e interactúan este tipo de arañas, lo cual permite la caída de mitos que tenemos acerca de la peligrosidad de estos animales. Una recomendación es que la presentación de la información puede ser de manera más infográfica, con más gráficos y menos textos”.

En base a esta experiencia se comprueba que el juguete cumple con su objetivo de educar y distraer al usuario, brindándole la oportunidad de cambiar los conceptos que tenía sobre la araña al conocer un poco más a fondo al organismo y su ambiente; a la vez que las piezas constituyeron un reto y distracción por sí mismas.

## CONCLUSIONES

La idea detrás de este tipo de lenguaje visual evolutivo es que las formas orgánicas pueden desencadenar un reconocimiento instintivo e intuitivo de la naturaleza en una forma completamente nueva y diferente a la representación visual de la información, a través de un meta lenguaje sobre la complejidad de los sistemas naturales. Así mismo, podría ser más efectivo en la creación y entendimiento de diseño ético e inclusivo, y una ayuda en la promoción de sistemas naturales y sostenibles; creando una percepción más saludable por lo que la naturaleza es y cuál es nuestro lugar en ella (Freij, 2010). Debido a que la experiencia de la belleza natural nos lleva a tener sentimientos de bienestar emocional que son un motivo significativo para buscar la conservación de la naturaleza (Dangles & Nowicki, 2010).

Los problemas de pérdida del hábitat en los trópicos se traduce directamente en la pérdida de especies; y esta pérdida de la diversidad tendrá importantes impactos en las propiedades de los ecosistemas y el bienestar de las poblaciones humanas. Los ecosistemas diversos no solo proveen bienes y servicios esenciales sino oportunidades únicas para reflexiones psicológicas y morales, emocionales, de educación y de inspiración. Así mismo, el contacto con ambientes biodiversos nos recuerda que somos parte del proceso evolutivo que moldeó la vida en la tierra y nos hace sentir que somos responsables por su perpetuación. En palabras del científico Stephen Jay Gould “no podemos ganar la batalla de salvar a especies y ambientes sin forjar un enlace emocional entre nosotros y la naturaleza ya que no se lucha para salvar lo que no amamos” (Dangles & Nowicki, 2010).

El uso de metodologías científicas dentro de la rama del diseño, no se encuentra muy difundido, pero este proyecto constituye un ejemplo más de factibilidad de este tipo de acercamientos. Para el diseñador conlleva un gran esfuerzo intelectual debido a la cantidad de

información proveniente de diferentes campos que debe procesar en cada paso y cómo combinarlos para llegar a su objetivo obteniendo un resultado diferente si utilizaría aproximaciones más tradicionales. El costo de este esfuerzo, queda solventado frente a las diferentes posibilidades que se abren al utilizar y adaptar diferentes metodologías y conceptos.

Uno de los objetivos de este proyecto fue obtener un producto que tome algo de la naturaleza, pero que a su vez permita devolverle algo a cambio. En este caso se toma de ella la inspiración para crear el juguete, y se la estudia para acercarse lo más posible a la realidad. A cambio se presenta información que trata de educar a las personas en la importancia de protegerla y conversar la diversidad que ahí convive. De esa manera se cierra un ciclo, y ambas partes resultan beneficiadas de su interacción.

Un problema que surgió durante el diseño de las piezas del juguete fue delimitar el tamaño total del mismo. Al terminar el diseño de las piezas se observó que el tamaño total iba a ser muy grande, imposibilitando el uso del juguete; por lo que se optó por reducir los tamaños de cada pieza pero sin reducir su número. Esta no fue la mejor manera de trabajar, y se recomienda que el tamaño total del juguete determine el tamaño y número de las piezas que lo conforman; de esa manera se optimiza los recursos y el diseño no es modificado posteriormente.

Las limitaciones de la impresión 3D pueden solventarse dependiendo del tipo de impresora a la cual se tiene acceso. Sin embargo, siempre va a ser un limitante si se quiere producir directamente piezas muy pequeñas. En este caso, la impresión 3D resultó muy útil para la elaboración del prototipo del juguete, lo cual permitió evaluar su rendimiento con usuarios reales y verificar que cumple los objetivos planteados.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnarsson, I. (2006). A revision of the New World eximius group of *Anelosimus* (Araneae, Theridiidae) and a phylogenetic analysis using worldwide exemplars. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 146, 453-593.
- Agnarsson, I. (2012). Systematics of new subsocial and solitary Australasian *Anelosimus* species (Araneae, Theridiidae). *Invertebrate Systematics*, 26, 1-16.
- Agnarsson, I., Zhang, JX. (2006). New species of *Anelosimus* (Theridiidae, Araneae) from Southeast Asia and Africa, with notes on sociality and color polymorphism. *Zootaxa*, 1147, 1-34.
- Aisenberg, A., Toscano-Gadea, C., Ghione, S. (2011). *Guía de arácnidos del Uruguay*, Uruguay, Montevideo: Ediciones de la fuga.
- Avilés, L. (1997). Causes and consequences of cooperation and permanent-sociality in spiders. En: Choe, J. & Crespi, B. (Eds.), *The evolution of social behavior in insects and arachnids* (476-498). Cambridge: Cambridge University Press.
- Avilés, L., Maddison, W., Salazar, P., Estévez, G., Tufiño, P., Cañas, G. (2001). Arañas sociales de la Amazonia ecuatoriana, con notas sobre seis especies sociales no descritas previamente. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74, 619-638.
- Barragán A., Dangles, O., Cárdenas, R., Onore, G. (2009). The history of entomology in Ecuador. *Annales de la Société Entomologique de France*, 45 (4), 410-423.
- Barreto, M., Scott, M., Oakley, I., Karapanos, E., Nunes, N., Gomes, S., Gomes, J. (2013). Playing for the planet: designing toys that foster sustainable values. *Proceedings of the 31st European Conference on Ergonomics*. Toulouse, France.
- Barth, Friedrich. (2002). *A spider's world: senses and behavior*. Berlin: Springer.
- Beverley, C., Ponsonby, D. (2003). *The anatomy of insects & spiders*. San Francisco: Chronicle Books.
- Brunetta, L., Craig, C. (2012). *Spider Silk: evolution and 400 million years of spinning, waiting, snagging and mating*. New Haven: Yale University Press.
- Burt, T. (2013). Interactive Evolutionary Computation by Duplication and Diversification of L-Systems. (Master of Science Thesis). The University of Calgary, Calgary.
- Bustamante, M., Cárdenas, R. (2007). *Bichos*. Quito: TRAMA.
- Clark, R. (2001). The Safety and Efficacy of Antivenon *Latrodectus mactans*. *Clinical Toxicology*, 39, 125-127.

- Dangles, O., Barrgán, A., Cárdenas, R., Onore, G., Keil, C. (2009). Entomology in Ecuador: Recent developments and future challenges. *Annales de la Société Entomologique de France*, 45 (4), 424-436.
- Dangles, O., Nowicki, F. (2010). *Biota Maxima: Ecuador Biodiverso*. Quito: Imprenta Mariscal.
- Darwin, C. (1860). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. (2da ed.). Londres: Clowes and Sons.
- Dawkins, R. (1983). Universal Darwinism. En Bendall, D. S. (Ed.), *Evolution: From Molecules to Man (360-373)*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Dawkins, R. (1987). *The Blind Watchmaker: Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe without Design*. New York: W.W. Norton.
- DiPaola, S., Salevati, S., Wakkary, R. (2013). Emerging modes of creative practice: collaborating with creative evolutionary systems. *Crafting Interactive Systems: Learning from Digital Art Practice*. (3-8) Francia. Recuperado de <http://di.ncl.ac.uk/publicweb/craftinginteractivesystems/DiPaola.pdf>
- Farell, R., Hooker, C. (2015). Designing and sciencing: Response to Galle and Kroes. *Design studies* 37, 1-11.
- Ruwan, F. (2014). *Representations for evolutionary design modelling*. (Tesis Doctoral). Queensland University of Technology, Brisbane.
- Foelix, R. (2010). *Biology of Spiders*, (3ra ed.). New York: Oxford University Press.
- Freij, M. (2010). *Organic Illumination*. (MA Design Futures), University of London. Londres. Recuperado de [http://issuu.com/mariannnikmanfreij/docs/mariannnfreij\\_desfut\\_dissertation2010\\_issuu](http://issuu.com/mariannnikmanfreij/docs/mariannnfreij_desfut_dissertation2010_issuu)
- Futuyma, D. (1998). *Evolutionary Biology*, Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- Galle, P., Kroes, P. (2014). Science and design: Identical twins?. *Design studies*, 35(3), 201-231.
- Garb, J.E., González, A., Gillespie, R.G. (2004). The black widow spider genus *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae) phylogeny, biogeography and invasion history. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 31, 1127—1142.
- Gauntlett, D. (2014). The LEGO System as a tool for thinking, creativity, and changing the world. En Wolf, J. P., (Ed.), *LEGO Studies: Examining the Building Blocks of a Transmedial Phenomenon*, New York: Routledge. Recuperado de <http://davidgauntlett.com/complete-list-of-publications/>

- Gburek, T. (2014). Plasticity of the red hourglass in femal western black widow spiders (*Latrodectus hesperus*): urban ecological variation, condition-depende, and adaptive function. (Tesis de Maestría). Arizona State University. Arizona.
- Girard, M., Kasumovic, M., Elias, D. (2011). Multi-Modal Courtship in the Peacock Spider, *Maratus volans* (O.P.-Cambridge, 1874). *PLoS ONE*, 6 (9).
- Heijer, E., Eiben, A. (2012). Using scalable vector graphics to evolve art. *International Journal of Arts and Technology*. Recuperado de <http://www.cs.vu.nl/~gusz/papers/2014-Using%20Scalable%20Vector%20Graphics%20to%20evolve%20art.pdf>
- Hinske, S., Langheinrich, M., Lampe, M. (2008). Towards guidelines for designing augmented toy environments. En *Proceedings of the 7th ACM conference on Designing interactive systems*. (DIS '08), 78-87. New York: ACM.
- Holzer, S. (1994). From constructivism to active learning. *The Innovator*, (2). Recuperado de [http://www.succeednow.org/innovators/innovator\\_2/innovator002.html](http://www.succeednow.org/innovators/innovator_2/innovator002.html).
- Insausti, T., Casas, J. (2008). The functional morphology of color changing in a spider: development of ommochrome pigment granules. *J Exp Biol*, 211,780–789.
- Jedlicka, W. (2010). *Sustainable Graphic Design: tools, systems and strategies for innovative print design*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Kamehkhosh, P., Ajdari, A., Khodadadeh, Y. (Junio 2010). Design Naturally: Dealing With Complexity of Forms in Nature & Applying It in Product Design. En *Design & Complexity Conference*. Montreal. Recuperado de <http://www.designresearchsociety.org/docs-procs/DRS2010/PDF/062.pdf>
- Kamehkhosh, P., Ajdari, A., Khodadadeh, Y. (2013). A glimpse to the theory of design naturally: a new approach to the theory of form in industrial design. *Global Journal of Science, Engineering and Technology*. 4, 26-43.
- Koyanagi, M., Nagata, T., Katoh, K., Yamashita, S., Tokunaga, F. (2008). Molecular evolution of arthropod color vision deduced from multiple opsin genes of jumping spiders. *Journal of Molecular Evolution*, 66, 130—137.
- Krzywinski, M. (2015). *Image color summarizer v0.52*. S.l: s.e. Recuperado de [http://mkweb.bcgsc.ca/color\\_summarizer/](http://mkweb.bcgsc.ca/color_summarizer/)
- Kudrowitz, B. (2014). Emerging technology and toy design. En Foller, J. *Designing for emerging technologies*. Massachusetts: O'Reilly Media, 237-253.
- Langella, C. (2007). *Hybrid design progettare tra tecnologia e natura*. Milano: Franco Angeli.
- Lauer, D., Pentak, S. (2005). *Design basics*. Belmont: Thomson Wadsworth.
- Lidwell, W., Holden, K., Butler, J. (2003). *Universal Principles of Design*. Gloucester: Rockport Publishers, Inc.

- Machado, P., Romero, J. (2011). On Evolutionary Computer-Generated Art. *The Evolutionary Review: Art, Science, Culture*, 2 (1), 156-170.
- Macnab, M. (2012). *Design by Nature*. Berkley : New Riders.
- Mallet, J., Joron, M. (1999). Evolution of diversity in warning color and mimicry: Polymorphisms, shifting balance and speciation . *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30, 201 – 233.
- Mandelbrot, B. (1982). *The fractal geometry of nature*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Marinov, M., Vink, C., Jones, D., Kumarasinghe, L. (2014). *Key to Theridiidae spiders of biosecurity importance to New Zealand*. New Zealand: Ministry for Primary Industries, Plant Health and Environment Laboratory (PHEL). Recuperado de <http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/theridiidae.htm>
- Martin, C. (2007). Usability of Pictorial Toy Assembly Instructions for Young Children. (Tesis doctoral). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
- McHardy, J., Jungnickel, K. (2013). *Experiments in (and out of) the studio: Art and design methods for science and technology studies*. Copenhagen. Recuperado de <http://www.katjungnickel.com/2013/01/14/easstpanel>
- McKosky, M. (2012). *Graphic Design + Biomimicry*. Self-published. Recuperado de <https://cias.rit.edu/media/uploads/faculty-s-projects/704/documents/52/graphic-design-biomimicry-book.pdf>
- Milne, C., Taylor, R. (2001). Design of an optimal structural and mechanical toy system. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. Princeton: Princeton University.
- Morgan, T. (1915). *The Mechanism of Mendelian Heredity*. New York: H. Holt and company. Recuperado de <http://archive.org/details/mechanismofmende00morgiala>.
- Myers, W. (2012). *Bio Design*. New York: The Museum of Modern Art.
- Nachtigall, W. (1994). *Creación de forma y biónica: diseño biológico. Naturaleza, diseño e innovación*. S.l.: ELISAVA. Recuperado de <http://tdd.elisava.net/coleccion/10/nachtigall-es>
- Navarrete, G. P., Ormeño, D., Miranda, A., Sánchez, G. R., Romero, M. F., Parodi, R. J. (2011). Molecular characterization, electrophysiological and contraceptive effect of Chilean Latrodectus venom. *International Journal of Morphology*, 29, 733–741.
- Nowak, M. (2006). *Evolutionary Dynamics: Exploring the Equations of Life*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Onduygu, D. (2010). Graphos: evolutionary algorithm as a model for the creative process and as a tool to create graphic design products. (Tesis de maestría ). Sbanzi University, LUGAR.

- Otto, J., Hill, D. (2011). An illustrated review of the known peacock spiders of the genus *Maratus* from Australia, with description of a new species (Araneae: Salticidae: Euophryinae). *Peckhamia*, 96(1), 1–27.
- Otto, J., Hill, D. (2012). Notes on *Maratus* Karsch 1878 and related jumping spiders from Australia, with five new species (Araneae: Salticidae: Euophryinae). *Peckhamia*, 103 (1): 1–81.
- Oxford, G., Gillespie, R. (2001). Portraits of Evolution: Studies of Coloration in Hawaiian Spiders. *BioScience*, 51, 521–528.
- Rezza, A. (2009). Nature oriented design. (Tesis de maestría). Politecnico Di Torino, Turín. Recuperado de <http://issuu.com/amrezza/docs/naturedesign>
- Sirinterlikci, A., Zane, L., Sirinterlikci, A. (2009). Active Learning Through Toy Design and Development. *The Journal of Technology studies*, 35(2), 14.
- Soper, K. (1995). *What is nature?*. Massachusetts :Blackwell Publishers Inc.
- Stowell, J. (2012). *BIO*. Self-published. Recuperado de <http://issuu.com/jordan.nz/docs/bio>
- Théry, M., Casas, J. (2009). The multiple disguises of spiders: web colour and decorations, body colour and movement. *The Royal Society Biological Sciences*, 364, 471-480.
- Thompson, D. (1945). *On growth and form*. New York: Cambridge University Press.
- Vega, M. (2010). Partición del nicho temporal, espacial y alimenticio en dos especies simpátricas de arañas subsociales en Ecuador. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Wilson, J. (2008). A systematic approach to bio-inspired conceptual design. (Tesis de doctorado) Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Wong, J., Chou, W. (Abril 2013). Exploring the Convergence of Science and Technology Studies (STS) and Design Studies/History, *The 10th European Academy of Design Conference - Crafting the Future*, University of Gothenburg, Suecia.
- Wong, W. (1993). *Fundamentos del diseño*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- World Spider Catalog. (2015). *World Spider Catalog*, (16). New York: Natural History Museum Bern. Recuperado de <http://wsc.nmbe.ch>
- Zelditch, M., Swiderski, D., Sheets, H., Fink, W. (2004). *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. Nueva York& Londres: Elsevier Academic Press.

## ANEXO A: CÓDIGO EN R PARA ESTADÍSTICOS DEL COLOR

```

#Nombrar especie
especie <- "elephans"
#Link fotografia
link <- "http://www.mavegap.com/color/objeto3/3_motivo/m_elephans.png"
#Bajar archivo usando el API, solo datos crudos
datos <-
read.table(file=paste("http://mkweb.bcgsc.ca/color_summarizer/?text=1&url=",
,link,"&precision=extreme&rawpixel=1"), header = FALSE, skip = 56)
#Guardar datos en txt
write.table(datos, paste(especie,"-data.txt", sep=""), append =
FALSE,row.names=F,quote=F,sep="\t")

#Escoger solo un tipo de valor o parámetro
h <- subset(datos, V2 == "h")
s <- subset(datos, V2 == "s")
v <- subset(datos, V2 == "v")
r <- subset(datos, V2 == "r")
g <- subset(datos, V2 == "g")
b <- subset(datos, V2 == "b")

# Asignar valores
hue <- h$V4
sat <- s$V4
val <- v$V4
red <- r$V4
green <- g$V4
blue <- b$V4

#Histograma Hue
hist(hue, breaks = 359, xlim = c(1,360), axes=FALSE, ann=FALSE,
col=rainbow(360))
axis(side=1, at=seq(0,360, 60), labels=seq(0,360, 60))
title(paste("Hue - A.", especie))
box()
dev.copy2pdf(file = paste(especie,"_hue.pdf", sep=""))

#Histograma Saturation
hist(sat, breaks = 359, xlim = c(0,100), axes=FALSE, ann=FALSE)
axis(side=1, at=seq(0,100, 25), labels=seq(0,100, 25))
title(paste("Saturation - M.", especie))
box()
dev.copy2pdf(file = paste(especie,"_sat.pdf", sep=""))

#Histograma Value
hist(val, breaks = 359, xlim = c(0,100), axes=FALSE, ann=FALSE)
axis(side=1, at=seq(0,100, 25), labels=seq(0,100, 25))
title(paste("Value - M.", especie))
box()
dev.copy2pdf(file = paste(especie,"_value.pdf", sep=""))

#Histograma RGB (mismo grafico)
hist(red, breaks = 359, xlim = c(0,255), col = "red", main="RGB",
axes=FALSE,ann=FALSE)

```