

**PROYECTO**

**«SHELLEY: Soft-robot sintético-natural acuático,  
energéticamente sustentable; oxigenador por movimiento  
y purificador por plantas.»**

**Alumna:** Daniela Pascale Rojas Levy

**Profesor Guía:** Alejandro Durán

**Diciembre 2017;** Santiago, Chile

Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la  
Pontificia Universidad Católica de Chile para  
optar al título profesional de Diseñador



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

**DISEÑO | UC**  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Escuela de Diseño

**Diciembre 2017; Santiago, Chile**

**PROYECTO**

«**SHELLEY:** Soft-robot sintético-natural acuático, energéticamente sustentable; oxigenador por movimiento y purificador por plantas. »

Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al título profesional de Diseñador

**Alumna:** Daniela Pascale Rojas Levy

**Profesor Guía:** Alejandro Durán



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

**DISEÑO | UC**  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Escuela de Diseño

---

Dedico este trabajo a mis padres, que me dieron la posibilidad de llegar hasta aquí; a mi familia y amigos por todo el apoyo durante el proceso y especialmente al gran docente Alejandro Durán por todas las enseñanzas, la sabiduría y sobre todo por siempre creer en mí.

En cuanto a los que leerán esta compilación, los invito a recorrer estas páginas con una mente abierta. Espero poder transmitir lo mucho que aprendí durante este proceso y lograr que se enamoren de estos temas tanto como yo.

# Contenidos

<b>08-11</b>	<b>Prólogo</b> “Diseño por incorporación”	<b>76-93</b>	<b>Aproximaciones</b> 76 Al ámbito de acción 78 Al componente vegetal 79 Acuaponia o capilaridad 84 Definición de materialidad 85 Corroboración empírica 89 Proceso cultivo biofilm 92 Ensayos solicitud mecánica 93 Prueba de concepto
<b>12-13</b>	<b>Introducción</b> Intradisciplina en pos de la interdisciplina	<b>96-113</b>	<b>Evolución asistida de especies simbiogénicas</b> Introducing Shelley 98 Shelley o-XV
<b>16-31</b>	<b>La historia de la robótica</b> Máquinas 2.0	<b>116-129</b>	<b>Propuesta Final</b> 118 Corazón 120 Cuerpo 122 Sistema Motriz 124 Extremidades
<b>34-39</b>	<b>Estado del Arte</b> Autómatas, asistentes mecánicos hasta “organismos” Soft Robotics	<b>130</b>	<b>Conclusiones del proyecto</b> ¿Cumplió con sus objetivos?
<b>42-47</b>	<b>Soft Robotics</b> Una nueva aproximación morfológica al ámbito de la robótica	<b>133-137</b>	<b>Epílogo</b> Evolución vs simbiogénesis
<b>50-51</b>	<b>Formulación preliminar</b> R+D	<b>138</b>	<b>Bibliografía</b> Referencias
<b>56-65</b>	<b>Experimentación</b> Análisis fisiológico de la capacidad de Soft Robotics	<b>140</b>	<b>Anexos</b>
<b>68-69</b>	<b>Organismos compuestos</b> De la simbiosis a la simbiogénesis		
<b>72-73</b>	<b>Formulación 2</b> Propuesta de investigación		

Alejandro Durán

## Diseño por incorporación

Organismos biológicos y dispositivos sintéticos como simbioses híbridas

Simbiosis, interacción entre miembros de diferentes especies que viven en relación mutua y contacto físico, nos evoca a un concepto críptico, un término biológico especializado. Esta incompreensión se debe principalmente a nuestra falta de conocimiento de su prevalencia en el mundo que nos rodea – Margulis, 1998. Cuando hablamos de simbioses los primeros referentes que emergen desde el imaginario colectivo son los peces payasos y sus anémonas. Nemo, el pez payaso perdido de Pixar, fue uno de los promotores de este acto inconsciente de divulgación científica.

En este sentido, los líquenes son otro ejemplo de esta relación de cooperación orgánica; conocidos vulgarmente como los “alghongos”, son organismos conformados tanto por un alga como por un hongo. Los hongos, como los animales, dependen de los vegetales como productores primarios para satisfacer sus necesidades energéticas. Se alimentan de plantas vivas o muertas, y en ambos casos, su fuente de alimento es de corta vida: morirá o se degradará completamente – Goffinet, 2012.

Algunos hongos, sin embargo, han adoptado una estrategia de vida en que dependen y usan un organismo sin dañarlo. Cuando esto ocurre y un hongo establece una relación con un alga o con una cianobacteria se denomina líquen. Esta asociación de beneficio mutuo permite

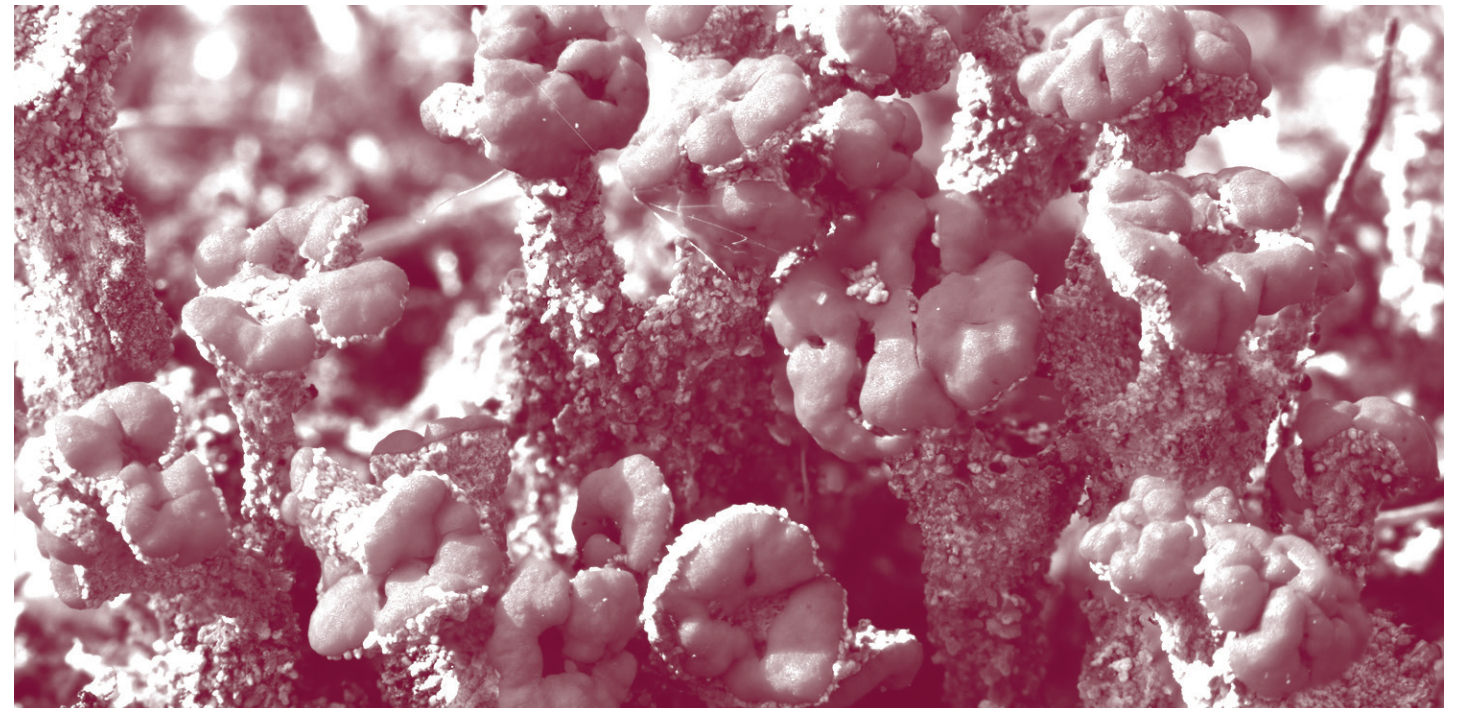
que los hongos dejen de estar confinados al oscuro mundo bajo el bosque y puedan colonizar los troncos o la superficie de las rocas. Mientras que estas algas, generalmente restringidas a una capa delgada bajo la superficie del hongo, obtienen un ambiente adecuado para crecer, protegerse de la herbivoría y la radiación solar dañina.

Podemos decir que los hongos han descubierto la agricultura mucho antes que los humanos.

Estas relaciones de beneficio mutuo entre distintas especies no son excepciones en un mundo de individuos separados. En nuestros intestinos y pestañas existen simbioses bacterianos y animales que nos ayudan a digerir los alimentos y protegernos de patógenos; tréboles y hierbas en nuestros jardines poseen pequeñas esferas en sus raíces en donde bacterias fijadoras de nitrógeno brindan nutrientes para el comienzo de la cadena trófica; un nogal posee más de 300 simbioses fúngicos diferentes (micorrizas) que se entrelazan en las raíces.

El contacto físico y las relaciones que de esta cercanía emergen son un requisito no negociable para muchos tipos diferentes de vida.

**Imagen página 7:** →  
Liquen  
«Cladonia Coccifera»  
(<http://zoom.nl/browse/tag/korstmos/index.html>)



Una asociación simbiótica implica que ambas partes se benefician con la interacción. En el caso del líquen no está claro en qué grado el alga se beneficia del socio, además de poder crecer en ambientes donde no podrían hacerlo por sí mismas. Sin embargo, algunas y quizás muchas especies de algas se conocen sólo por los líquenes que forman, sugiriendo que desde un punto de vista evolutivo, la liquenificación ha ofrecido al alga la posibilidad de diversificarse.

Es interesante reconocer que de esta fusión, surgen nuevos resultados, beneficios inesperados, no encontrados en sus versiones “individuales”. En el caso del líquen, una vez inte-

grados, los hongos sintetizan moléculas que protegen al alga de la luz UV o de herbívoros, siendo estos nuevos compuestos desconocidos en otros hongos o plantas.

Ivan E. Wallin, anatomista de la Universidad de Colorado, anunció en el libro: “Symbioticism and the Origin of the Species” (Baltimore: Williams & Wilkins, 1927) que las nuevas especies se originan a través de la simbiosis.

“Symbiogenesis, an evolutionary term, refers to the origin of new tissues, organs, organisms—even species—by establishment of long-term or permanent symbiosis”

Margulis, L., & Sagan, D. (2004). *Acquiring genomes: a theory of the origins of species*. New York: Basic Books.

Si bien Wallin nunca usó la palabra simbiogénesis, reconocía claramente el potencial de la integración como base fundante de la diversidad de las especies. Lynn Margulis, bióloga estadounidense, fue quien en su libro “Acquiring genomes: a theory of the origins of species” enfatiza la relación que se produce de forma dinámica entre organismos complementarios como precursor del surgimiento de nuevas formas de vida. Esto es importante, ya que aunque Charles Darwin tituló su opus magnum “On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life”, la aparición de nuevas especies apenas se discute en su libro.

Para Margulis, la simbiosis es crucial para la comprensión de la diversidad evolutiva. La novedad basada en la cooperación, la integración entre sistemas incrementales, es el punto de entrada para entender la aparición de nuevos organismos. Estas “fusiones” comienzan desde células con núcleo hasta bacterias que poseen beneficios mutuos y que logran interactuar de forma concertada, y desde ahí a otros organismos como hongos, plantas y animales.

Si la asociatividad e integración entre organismos promueve el surgimiento de nuevas especies, surge la interrogante sobre qué ocurre cuando los sistemas que interactúan y cooperan no son completamente biológicos.

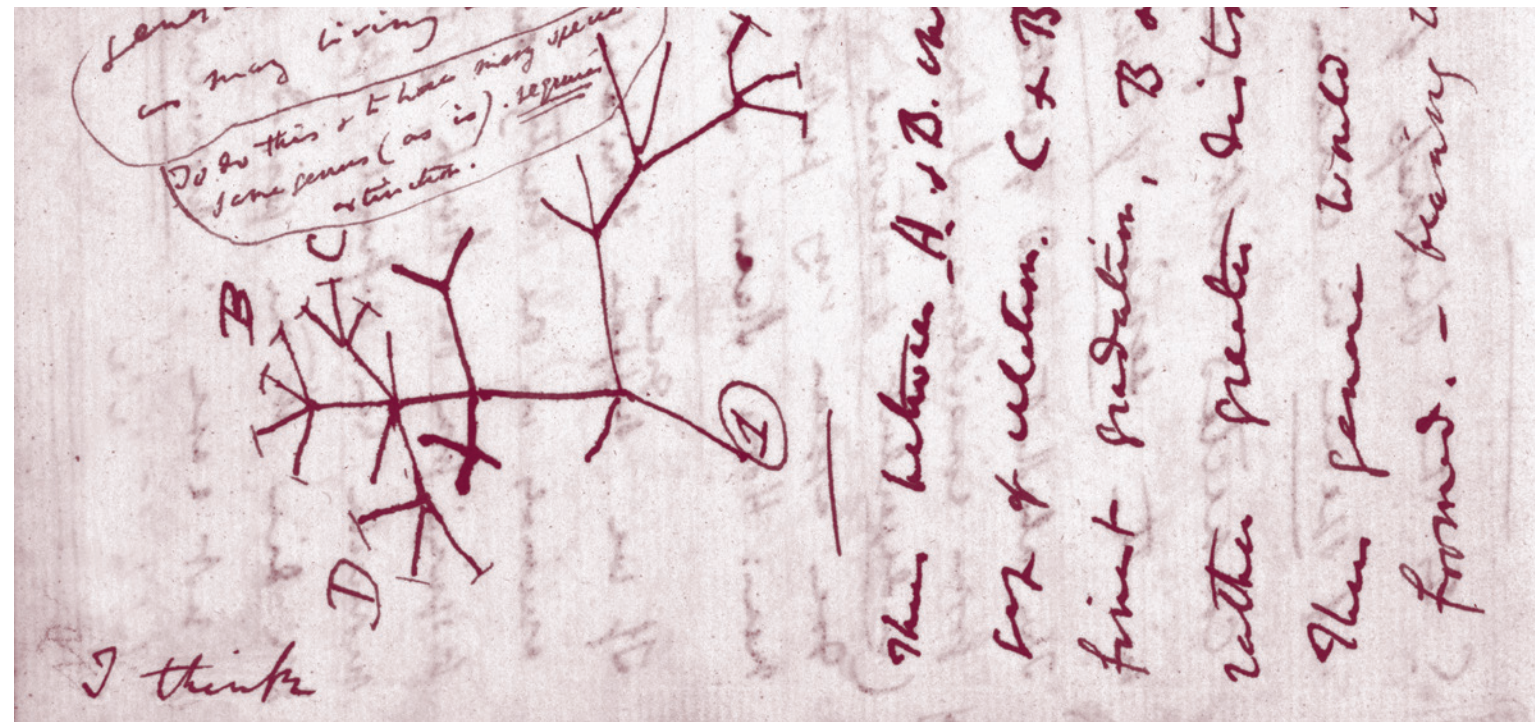
En palabras de Juan Carlos Castilla, Doctor en Biología Marina, Premio Nacional de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas:

“Un organismo es una maravilla. Un organismo no es una máquina. El problema de explicar qué es un organismo, es que es mucho más que una máquina. Una máquina la puedes articular, programar, decirle qué tiene que hacer.

Un organismo está vivo, tiene la posibilidad de auto-replicarse en el futuro. La posibilidad de trascender, no como individuo, como organismo, sino como parte de una población.

(...) Pero bueno, en qué consiste la maravilla: la maravilla para mí consiste en que hay un espa-

**Imagen página 11:** → Charles Darwin's 1837 sketch, his first diagram of an evolutionary tree from his First Notebook on Transmutation of Species. (<https://www.pinterest.cl/52700243588988193/>)



cio de tiempo en que los organismos funcionan en gradientes, siendo distintos unos de otros con una base, una base genética. Y esta base genética es transmisible. Es un sistema que funciona con una información que le da una temporalidad de existencia. Con la posibilidad de que la información que contiene trasciende y se transfiera a otros.”

Hemos buscado inspiración en estos organismos para extraer principios, procesos y materiales que forman una metodología de diseño basada en la extrapolación; esta mimesis es la base de constructos sintéticos que se asemejan a materiales biológicos, métodos computacionales que replican procesos neuronales, incluso tiempos de vida que responden a la obsolescencia de sus componentes. Lo natural está guiando el diseño.

El diseño está permeando también a la naturaleza. Si vemos la genética o la medicina regenerativa, los diseñadores están desarrollando nuevas tecnologías no previstas o anticipadas por la naturaleza. Si bien es la biónica el área más conocida de esta interacción entre la biología y el diseño, existen también otros ámbitos en los que la inclusión de “máquinas” ayuda a organismos a ejecutar mejor sus acciones, protegerse de condiciones desfavorables o contribuir a diversificar sus cualidades.

Si una prótesis es a una persona; una ayuda sintética a un ente biológico, reemplazando partes dañadas o funciones incompletas; ¿Qué pasaría si una máquina adquiere elementos biológicos para mejorar sus prestaciones o partes dañadas?

Este tipo de análisis, restringido hace un par de años a la ciencia ficción y al cyberpunk, hoy en día puede ser desarrollado desde esta visión de cooperación entre sistemas. Esta integración efectiva entre máquinas y organismos nos brinda la posibilidad de unificar áreas que antes estaban distanciadas, maximizando la retroalimentación y abriendo nuevas líneas de investigación.

Somos simbioses en un ecosistema simbiótico, y al mirar en detalle, podemos reconocer que la simbiosis es un fenómeno ubicuo.

Cuánto tiempo debemos esperar para que esta integración entre lo orgánico y lo sintético sea difícil de reconocer, sigue siendo una interrogante, y para la tranquilidad del gremio de lo vivo, el desarrollo de nuevos organismos capaces de maravillarnos y trascender con información sigue siendo monopolio de lo biológico y se resiste a la automatización. ¿Por cuánto tiempo mantendremos la hegemonía? que se abran las apuestas.

Daniela Rojas

## Intradisciplina en pos de interdisciplina

Aproximación experimental al desarrollo de proyectos interconectados

Definir una temática específica para abordar un proyecto de título en diseño, no es una tarea fácil si consideramos que nuestra disciplina posee un extenso ámbito de acción; que la ausencia de un objeto de estudio en particular, nos permite abordar una infinidad de ámbitos de la interacción humana y que las libertades disciplinares que nos brinda nuestra formación académica nos enfrenta con una impronta interdisciplinar. Considerando estos antecedentes, podemos afirmar que el diseño se caracteriza por ser y promover la cooperación entre variadas ramas del saber humano. Debemos ser capaces de integrar sus conocimientos y protocolos para analizar y diseñar mejores servicios, bienes, experiencias y gran parte de la cultura material que nos rodea.

Esta interconexión disciplinar puede ser encontrada en ejemplos que van desde la mejora de la educación, el diseño de dispositivos médicos o la generación de interfaces que promuevan una mejor experiencia de usuario. En este sentido, la definición de una temática para abordar la investigación de título se enfrenta al desafío de revelar alguna oportunidad de diseño o avanzar en una línea de conocimiento que permita expandir los alcances del diseño, en pos de mejorar la calidad de vida de las personas.

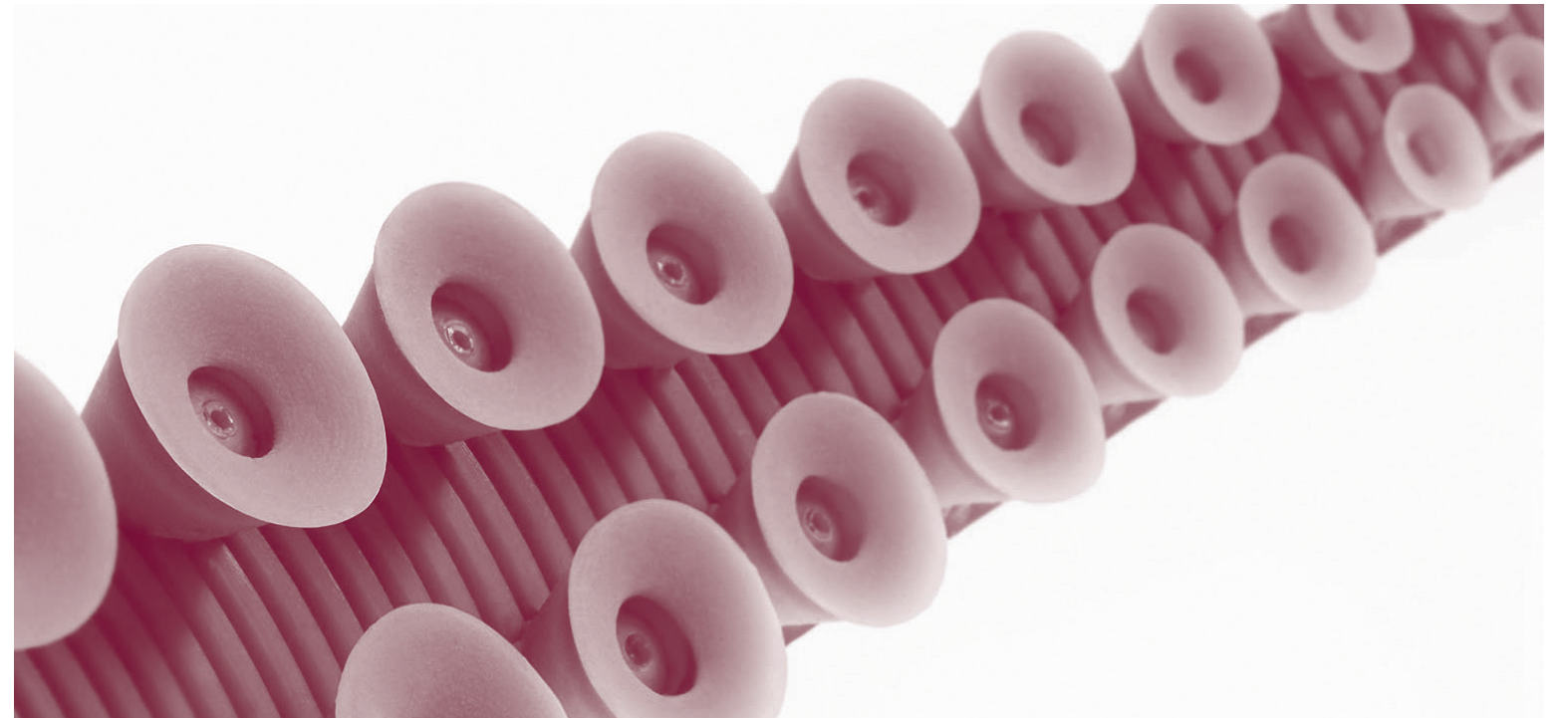
Es así como este proyecto pretende explotar la interdisciplinariedad que propone y promueve el diseño como manera de encontrar soluciones

antes impensadas. Se quiere analizar y conectar ámbitos que pueden parecer, a primera vista, desconectados pero que pueden abrir nuevas líneas de aplicación. El desafío recae en encontrar los puntos de interacción entre áreas de interés, reconociendo el valor de cada una para proponer una simbiosis que nutra este trabajo.

En este sentido, la ciencia, especialmente la fusión de la robótica y la biología, aparecen como una fuente de información que devela múltiples áreas en desarrollo muy poco exploradas y con un gran potencial de expansión. Si bien, los avances en esta área han sido significativos en los últimos años, la limitación a un desarrollo parcelado ha coartado un crecimiento que complemente los fenómenos que estudia. Es así como la inclusión del diseño como catalizador puede dar luces e inspiración a nuevos mecanismos, métodos y soluciones. El diseño aquí puede funcionar como el puente conector entre distintas perspectivas, fusionando las fortalezas y oportunidades que emergen desde una visión divergente del proyecto.

En este sentido, el diseño se entiende como una disciplina, que desde la observación de las prácticas cotidianas, trabaja para dar solución a las necesidades de las personas, siempre pensando en estos como guía para el desarrollo del proyecto de diseño. A pesar de esto, nuestra carrera puede y, en mi opinión, debe abrir líneas de investigación que también posean su foco de

**Imagen página 13:** → Octopus Gripper creado por Festo. (<http://robotrends.ru/pub/1713/bionicheskoe-shupalce-ot-festo-gotovo-k-akkuranoy-rabote>)



estudio en las posibilidades tecnológicas y alcances de ciertas metodologías y/o materiales como forma de sentar las bases para luego proponer en pos de un potencial destinatario. Esto hace que el diseño aporte no sólo en la creación de objetos sino en la generación de nuevas líneas de conocimiento.

Podemos mencionar distintas iniciativas que comparten esta visión de una investigación en diseño. Un ejemplo de esta perspectiva es la tesis de pregrado de Iván Tarride, sociólogo y diseñador de nuestra escuela, quien aborda el desafío de analizar los alcances de las tecnologías de sentido cerebral para el desarrollo de interfaces cerebro máquina. En este sentido, si bien su resultado final posee aplicaciones directas; su foco se centra en analizar las posibilidades de estas tecnologías enfatizando los posibles usos experimentales. En palabras de Tarride:

“Se comprende de este modo el interés de llevar a cabo una investigación y experimentación desde el punto de vista del diseñador respecto de tecnologías innovadoras. En la medida en que la tecnología BMI (Brain Machine Interface) varía y amplía las vías de interacción con las máquinas, el diseñador posee una nueva herramienta para complementar desde el punto de vista del diseño de experiencias la oferta de interacción para el usuario. La comprensión de su funcionamiento y uso desde el diseño y del trabajo proyectual implicado es un primer paso para poder acceder a aprovechar las particulari-

dades que potencialmente genera este avance técnico.” (Tarride, 2011, p.162)

En este contexto, surge el concepto de simbiosis; un término extraído de la biología que se refiere a “the living together of two or more organisms in close association” (Lynn Margulis, 1971, pág 140.) Este término generalmente se restringe a la dependencia de dos organismos, donde ambos obtienen un beneficio de esta relación simbiótica; podemos observar esta relación de cooperación entre el pez payaso y la anémona. En este caso, el pez payaso atrae a sus depredadores por su colorido; por lo tanto se refugia en una anémona que es un organismo venenoso. Al contacto con ésta los depredadores quedan paralizados y son comidos por la anémona. Los restos son ingeridos por el pez payaso quien al hacer esto, limpia la anémona además de oxigenar sus tentáculos con su movimiento constante. (“El pez payaso y su relación de mutualismo con las anémonas”, (s.f.).)

Sin forzar una interdependencia entre “organismos”, se espera analizar y catalizar la interacción de aspectos propios de la robótica y la biología con el fin de generar una fusión que enriquezca este complemento entre organismos biológicos y sintéticos. Por lo tanto esta investigación pretende analizar los distintos organismos y posibles uniones con mecanismos artificiales, generando una relación simbiótica de codependencia.

## CAPÍTULO 1.

15

"In the beginning there was man, and for a time it was good. But humanity's so called 'civil societies' soon fell victim to vanity and corruption. Then man made the machine in his own likeness. Thus did man become the architect of his own demise. But for a time it was good. The machines worked tirelessly to do man's bidding."

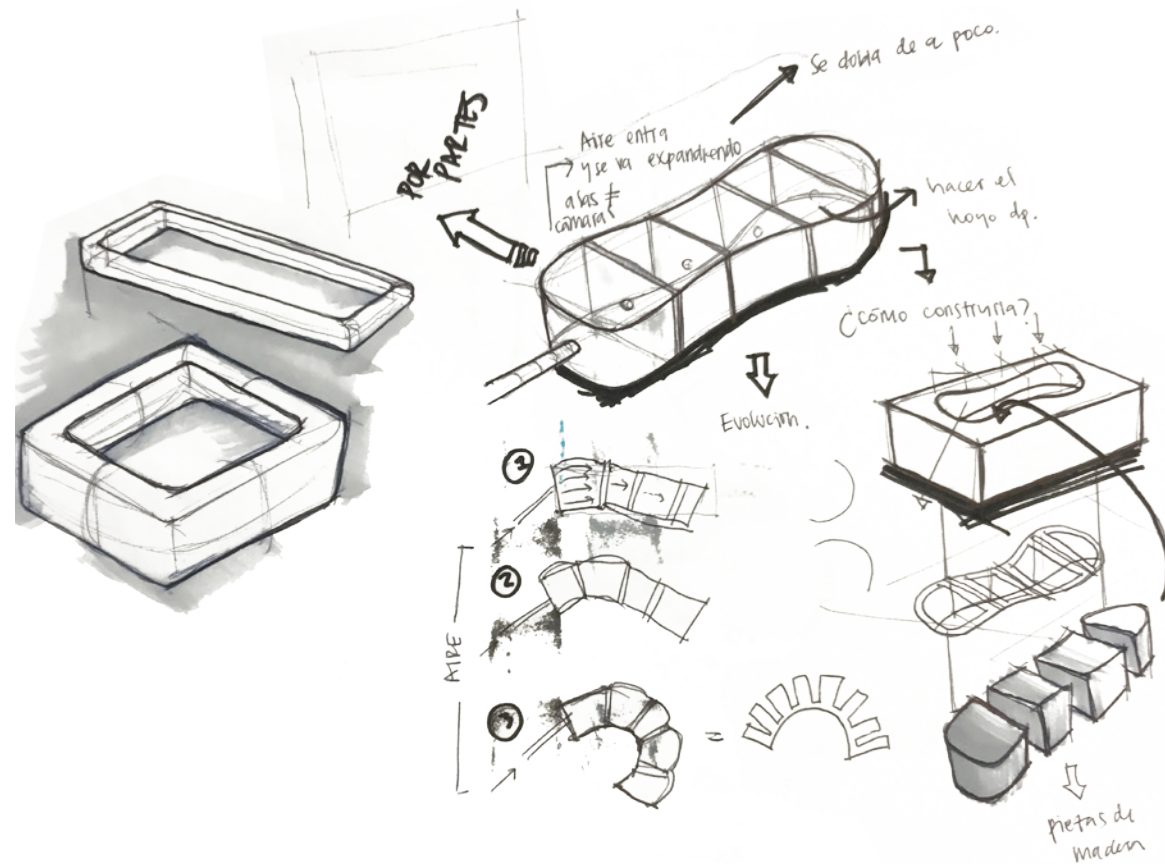
**"En el principio estaba el hombre y durante un tiempo estuvo bien. Pero las llamadas "sociedades civiles" de la humanidad pronto fueron víctimas de la vanidad y la corrupción. Fue entonces que el hombre creó a la máquina a su imagen y semejanza. Así el hombre se convirtió en el arquitecto de su propia desaparición. Pero por un tiempo estuvo bien. Las máquinas trabajaron incansablemente para cumplir las órdenes del hombre."**

Second Renaissance; The Animatrix.



## Máquinas 2.0

Aproximación experimental al desarrollo de proyectos interconectados



No es antojadizo declarar que el concepto “máquina” es entendido de forma transversal. Podemos asumir que una de las principales razones se basa en el contacto cotidiano, a tal punto que dependemos de ellas casi por completo. Hemos naturalizado nuestra relación con las máquinas, transformándolas en extensiones indisolubles de nuestra realidad, existiendo múltiples casos en los que, a veces sin darnos cuenta, se han abierto paso hacia nuestras vidas en la amplitud del concepto. Desde la medicina, pasando por la industria, la agricultura y llegando a nuestras casas. Pero, ¿Qué es una máquina en realidad?

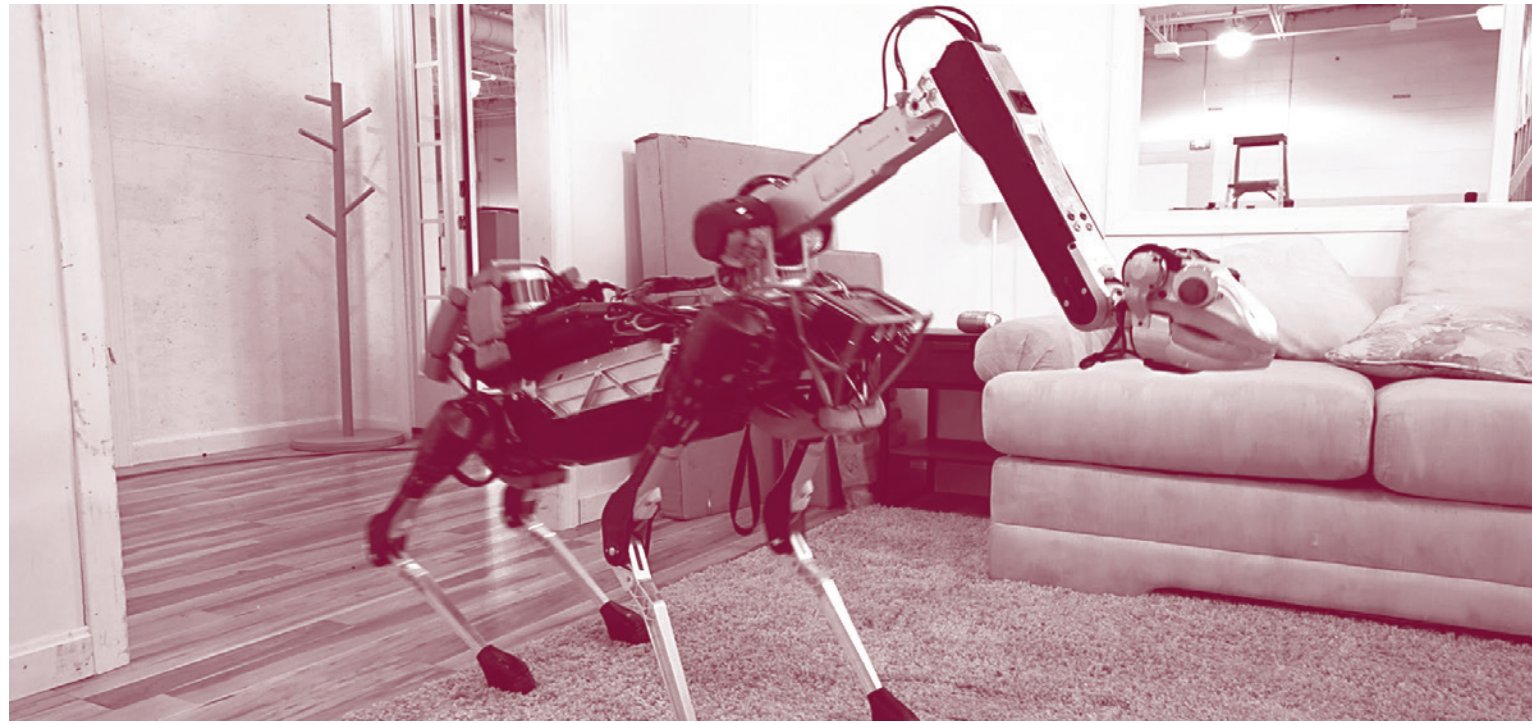
En la publicación “Universal Intelligence. A definition of machine intelligence”, podemos reconocer el concepto de máquina de la siguiente forma: “Machines can have physical forms, sensors, actuators, means of communication, information processing abilities and environments that are totally unlike those that we experience” (Legg, Hutter, 2017, p.392). Esta definición considera a las máquinas como un conjunto muy amplio de objetos, que pueden tener variadas características y ser utilizadas en diferentes ámbitos. En este sentido, y con el tiempo, distintas ramas de la maquinaria se han desarrollado dependiendo del fin que persiguen. Se han desarrollado maquinarias para la industria automotriz, máquinas para las expediciones al espacio, otras que se encargan de la preparación de la comida o la limpieza del hogar. En este proceso evolutivo, la llegada de

los microprocesadores y la posibilidad de programar estos mecanismos nos acerca a lo que la literatura de ciencia ficción y el cine habían proclamando hace ya un tiempo: la llegada de los **robots**, máquina en la que nos enfocaremos en esta investigación.

Entenderemos el concepto de “robot” como un tipo de máquina que tiene tres características fundamentales. **En primer lugar, tiene la capacidad de sentir el ambiente a través de sensores que pueden ser de naturaleza electrónica como análoga.** Un ejemplo de esta característica son aquellos robots domésticos que se encargan autónomamente de aspirar los pisos o alfombras. Se mueven a lo largo de las superficies de las casas gracias a sensores de proximidad que les informan por dónde ir y qué esquivar.

**Una segunda característica es la capacidad de realizar una o varias acciones específica(s),** como lo hace, por ejemplo, un brazo robótico en una línea de ensamblaje; estas máquinas robóticas repiten con precisión tareas mecánicas como la unión de piezas, el ensamblaje de partes o la segmentación de elementos.

**Por último, un robot posee un cierto grado de inteligencia,** es decir, es una máquina que adapta su actuar en relación a la actividad que realiza y a la forma más astuta de realizar su fin. Esto puede verse reflejado en el funcionamiento de los autos sin conductores que lanzó recientemente Google; donde a partir de la



información obtenida de los sensores y láseres, el auto “decide” cómo actuar, esperando a que ciertos autos pasen para cambiarse de pista o calculando si puede hacer ciertas maniobras sin colisionar. Además reconoce escenarios peligrosos anteriores para anticiparse en eventos futuros.

Sumado a esto, un robot tiene 5 componentes principales. En primer lugar, actuadores que son los músculos del robot, los que transforman la energía obtenida y acumulada en movimiento. En segundo lugar, poseen sensores que le permiten recibir información del ambiente o de su estado interno. Éstos son fundamentales ya que son los que le proporcionan la información al robot ante la cual actuar. En tercer lugar, poseen manipuladores que vendrían siendo los brazos. Las manos de un robot son los llamados efectores. Sumado a esto los robots poseen sistemas de locomoción, que son lo que les permite moverse por el espacio y pueden variar en forma y funcionamiento dependiendo del fin que persiga. Por último, todo robots poseen una fuente de energía, ya sea eléctrica, calórica, hidráulica, entre otras, todo robot necesita una fuente de donde obtener la energía para realizar su finalidad.

Podemos identificar estas cualidades en el llamado “SpotMini”, robot desarrollado por la empresa Boston Dynamics, la rama “comercial” de los desarrolladores militares de DARPA, (Defense Advanced Research Projects Agency). Esta

máquina inteligente replica el comportamiento de un animal cuadrúpedo. Es capaz de sentir el ambiente para agacharse o moverse dependiendo del obstáculo que deba superar. Puede realizar variadas actividades: caminar, levantar objetos, saltar, entre otras. En este sentido, posee la habilidad de equilibrarse, es decir, cuando uno de los desarrolladores de Boston Dynamics, lo empuja es capaz de recobrar el equilibrio o en el caso de resbalarse con algo, tiene la capacidad de levantarse autónomamente. Logra reconocer la presión que debe ejercer con su pinza o tenaza dependiendo del objeto que está intentando levantar o mover. Por ejemplo, cuando quiere levantar una lata vacía de bebida para tirarla a la basura, debe utilizar menos fuerza que la que ocupa para levantar un vaso de vidrio. Es así como la inteligencia de este robot emerge desde el reconocimiento de las condiciones de su entorno, el anticiparse a situaciones y tomar medidas ante estos cambios en su entorno.

Según Andrew G. Haldane, economista jefe del Banco de Inglaterra, para el año 2030 los robots podrían llegar a reemplazar a 15 millones de trabajadores ingleses, es decir, casi la mitad de su fuerza laboral. (“Bank of England: 15 million British jobs at risk from robots”, 2015, párr. 1.) Esto debido a que los robots son parte fundamental de nuestro mundo globalizado, donde paulatinamente han tomado protagonismo en las distintas industrias, realizando actividades específicas, las que han guiado el desarrollo de sus propiedades, capacidades, formas y alcan-

ces. De esta manera y cada vez más, los robots realizan tareas que en otros tiempos eran parte del trabajo humano.

La robótica, sus características, prestaciones y capacidades han evolucionado desde los avances tecnológicos, sociales y contextuales. Laschi, Mazzolai y Cianchetti (2016) mencionan que con el tiempo los robots se han vuelto ubicuos, por lo tanto se espera que sean utilizados en variados escenarios y para realizar múltiples funciones. Pero no todos los contextos pueden trabajar con robots rígidos hechos de metal y cables, debido al sujeto u objeto con el que tratan. Poseen limitaciones que llaman a buscar nuevas soluciones, tal y como lo menciona Sheperd, et.al.

“Although robotics has made enormous progress in the last 50 years, hard robots still have many limitations. Some of these limitations are mechanical, and include instability when moving in difficult terrain; some have to do with the ranges of motions afforded by actuators and structures (e.g., metal rods, mechanical joints, and electric motors); some stem from the complexity in control (especially when handling materials and structures that are soft, delicate, and complex in shape). Hard robots fabricated from metals are also often heavy and expensive, and thus are not suitable for some applications. New classes of robots may thus find uses

in applications where conventional hard robots are unsuitable.” (Sheperd, et.al, 2011, pág.1.)

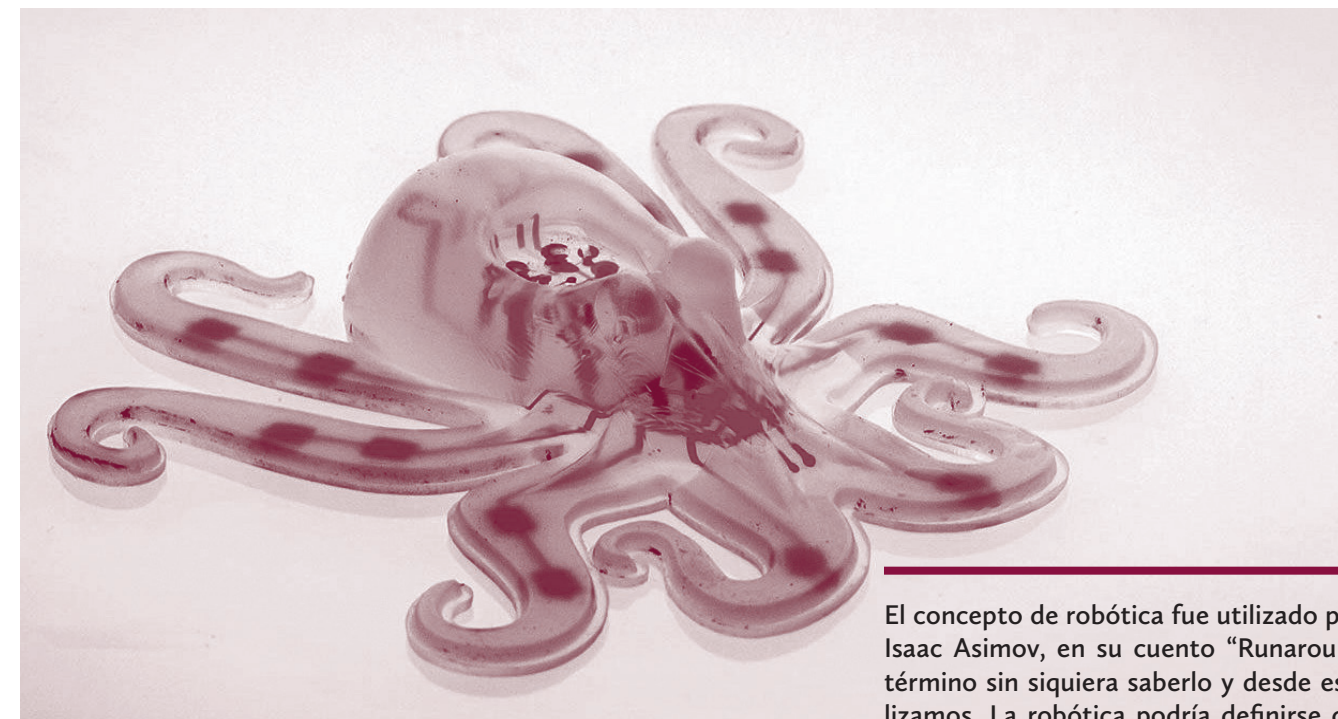
En este sentido y como dice Neri Oxman en su charla TED, “Assembly lines have dictated a world made of parts, framing the imagination” (Oxman, 2015), pero las necesidades del mundo actual dictan un cambio de paradigma, una nueva forma de pensar y abarcar la robótica. Si bien podemos reconocer que el desarrollo técnico de los robots en sus actuales configuraciones, aún posee un alto espectro de desarrollo, nuevas formas de enfrentar su diseño han emergido en los últimos años.

Debido a lo mencionado, el uso de materiales blandos, predominantemente elastómeros, es el nuevo desafío de la robótica (Laschi, Mazzolai, Cianchetti, 2016) pudiendo así encontrar nuevos usos, capacidades, métodos constructivos y de control en esta disciplina. A lo largo de esta investigación se presentará el estudio y posterior propuesta de un nuevo uso en esta área llamada por su término en inglés “Soft Robotics”.

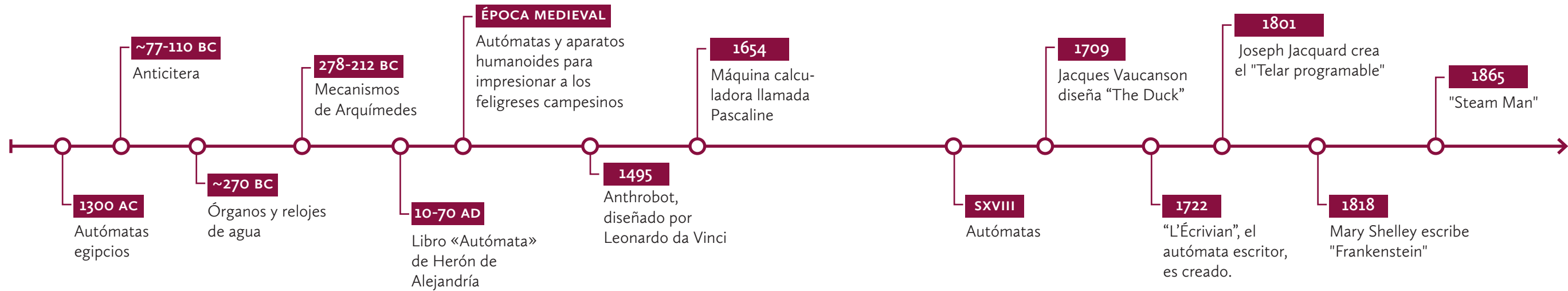
A continuación se presenta una progresión temporal que da cuenta del proceso de evolución de la robótica que se explicó anteriormente. Esta pretende ser una compilación de los hitos más importantes que han moldeado la robótica hasta la actualidad.

← **Imagen página 18:** SpotMini robot desarrollado por Boston Dynamics. (<https://www.youtube.com/watch?v=tf71EVTDjng>)

↓ **Imagen página 19:** Octobot, robot soft desarrollado en la Universidad de Harvard. (<http://www.publico.es/ciencias/cientificos-eeuu-crean-octobot-robot.html>)



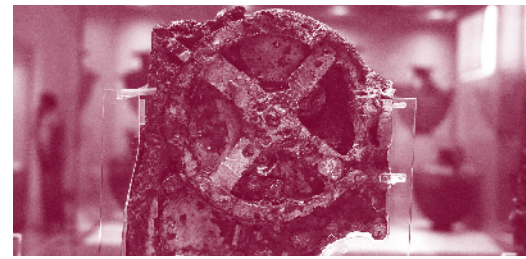
El concepto de robótica fue utilizado por primera vez por Isaac Asimov, en su cuento “Runaround”. Éste acuñó el término sin siquiera saberlo y desde ese entonces lo utilizamos. La robótica podría definirse como el campo de estudio, producción y desarrollo de robots (Asimov, 1991), los cuales a su vez son máquinas que, a diferencia de otras de su tipo, pueden sentir el ambiente, ejecutar una acción y aprender en base a ello.



**(1300, AC)**

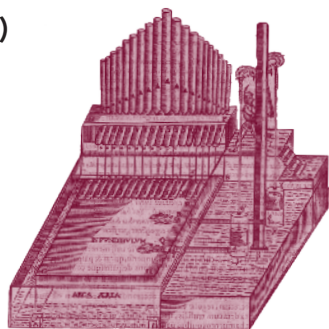
Los autómatas más antiguos que existen datan de la época de los egipcios, de la época del templo Mortuorio en Luxor. Se trataban de dos gigantes, ubicados en la entrada, que al salir el sol emitía un sonido parecido al habla. Esto ocurría debido a que el agua que tenían en su interior, se evaporaba con el sol y salía a través de una fisura o boquilla que provocaba el sonido. Sumado a esto, inventaron los relojes de sol y las clepsidras, para saber la hora incluso en las noches.

**(~77-110, AC)**



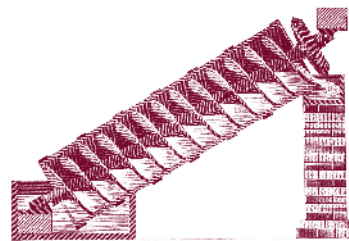
En esta época se cree que fue construida la Anticitera, de origen griego. Se trata de un conjunto de relojería complejo compuesto por, al menos, 30 engranajes hechos de bronce. Se cree que era utilizado para calcular la posición del sol, la luna y los astros.

**(~270, AC)**



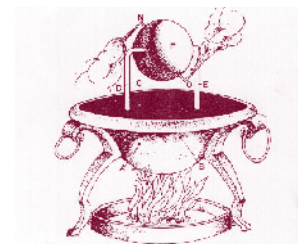
Ctesibio de Alejandría, un ingeniero griego, diseñó y desarrolló relojes y órganos de agua que contenían figuras móviles.

**(278-212, AC)**



Arquímedes crea mecanismos y sistemas que se utilizan hasta la actualidad en robótica y matemáticas.

**(10-70, DC)**



Herón de Alejandría escribe su libro titulado "autómata", una compilación de distintos mecanismos que se cree fueron utilizados en esa época en los templos. Dentro de ellos encontramos un cuentakilómetros, el órgano eólico, estatuas animadas, la eolípila (antepasado de motores a vapor), etc.

**Medioevo**

Autómatas y aparatos que se movían sin ayuda externa, fueron creados en esta época principalmente para impresionar a los feligreses campesinos de la iglesia y llevarlos a creer en Dios.

**Columna izquierda:**

**1. Imágen superior:** Anticitera.

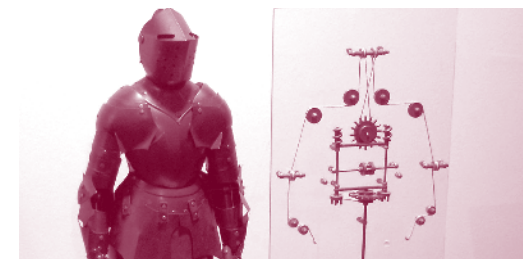
**2. Imágen inferior:** Órgano de agua.

**Columna derecha:**

**1. Imágen superior:** Tornillo de Arquímedes.

**2. Imágen inferior:** Eolípila, antepasado de los motores a vapor.

**(1495)**



Leonardo da Vinci diseñó lo que se conoce como el "anthrobot", el primer robot humanoide de la historia. Estaba pensado para que pudiera sentarse, mover los brazos y su cabeza, mientras abría la mandíbula. Cabe mencionar que no se sabe con certeza que haya sido fabricado.

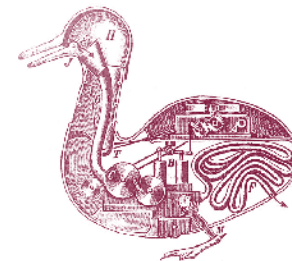
**(1645)**

Blaise Pascal inventa el "Pascaline" que se trataba de una máquina calculadora.

**(Siglo XVIII)**

Se volvió popular para los ciudadanos más ricos jugar con autómatas que estaban pensados para verse como humanos o pequeños animales.

**(1709)**



Jacques Vaucanson diseña su pieza más famosa, "The Duck". Un aparato mecánico con forma de pato que podía batir sus alas, comer y digerir grain. Estaba formado de cientos de partes mó-

viles y su funcionamiento todavía sigue siendo una especie de misterio.

**(1722)**



Los inventores Pierre y Henri Jacquet-Droz, ambos suizos, crearon un niño robótico llamado "L'Écrivain", en español "el escritor". Era capaz de escribir hasta 40 caracteres gracias a un "cerebro mecánico".

**(1801)**

Joseph Jacquard inventa una máquina textil llamada "El telar programable". Funcionaba gracias a tarjetas que contenían las instrucciones de acción para la máquina en lenguaje binario en forma de perforaciones.

**(1818)**

Mary Shelley escribe una historia acerca de una vida artificial creada por el Dr. Frankenstein en base a partes unidas de distintos cadáveres, las que eran traídas a la vida a través de un shock eléctrico. Cabe mencionar que este libro sienta las bases para muchas de las percepciones que se tuvieron acerca de los robots y que se ven reflejadas en las representaciones de éstos en el cine.

**(1865)**

John Brainerd desarrolla un aparato conocido

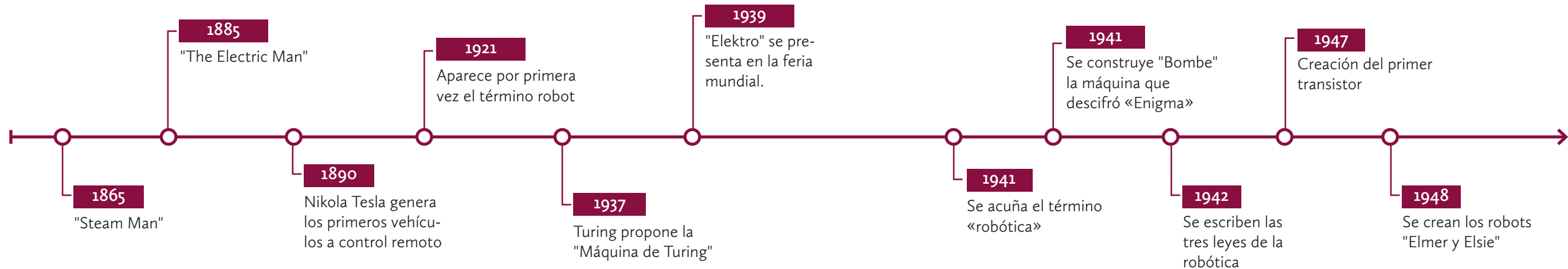
**Columna izquierda:**

**1. Imágen superior:** Anthrobot por Leonardo da Vinci.

**2. Imágen inferior:** "The Duck".

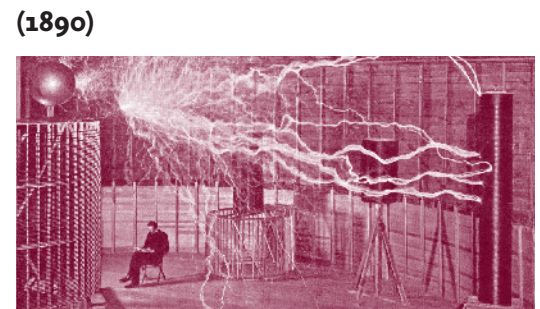
**Columna derecha:**

**1. Imágen superior:** Autómata escritor llamado "L'Écrivain".



como "The Steam Man"; se utilizaba para tirar carros y otras cosas.

**(1885)**  
Aparece "The Electric Man", una versión eléctrica de "The Steam Man". Ésta fue creada por Frank Reade Jr.



Nikola Tesla genera los primeros vehículos a control remoto. También se le conoce por sus variados inventos, dentro de los cuales destacan la radio, los motores de inducción y las bobinas Tesla.

**(1921)**  
El término robot aparece por primera vez en una obra llamada RUR o "Rossum's Universal Robots" escrita por el escritor checo Karel Čapek. La trama trataba de un hombre que crea robots para reemplazarlo en ciertas tareas, pero termina siendo exterminado por éstos. La palabra viene del checo "robotá" y hace referencia al trabajo pesado o mano de obra esclava.

**(1937)**  
Alan Turing propone lo que se conoce como "La máquina de Turing", una máquina con capacidad calculadora infinita, la que se basaba en una serie de instrucciones lógicas simples. Es decir,

describía cómo un sistema de reglas simples podía efectuar todo tipo de operaciones matemáticas formales. Era tanto una teoría como una prueba de que ese tipo de máquina podía ser construido. ("Alan Turing", (s.f.).)



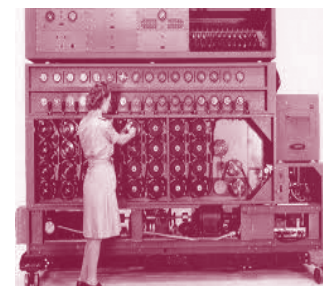
Westinghouse crea su robot humanoide Elektro, el que fue presentado por primera vez en la feria mundial de 1939. Era capaz de caminar, hablar e incluso fumar y respondía a comandos de voz.

**(1941)**  
1. El escritor de ciencia ficción Isaac Asimov, acuña el término robótica al utilizarlo por primera vez en su cuento corto "Runaround", donde lo utiliza para referirse a la tecnología de los robots.

2. Se construye "Bombe", un aparato electromagnético para descifrar las comunicaciones y mensajes del cifrado alemán, Enigma durante la segunda guerra mundial. Este aparato fue pensado por Alan Turing y Harold Keen, ambos británicos.

**Columna izquierda:**  
**Imágen:**  
Bobinas Tesla.

**Columna derecha:**  
**Imágen:**  
Elektro siendo presentado en la feria mundial.



**Alan Turing** fue un matemático inglés nacido en 1912 al que se le considera uno de los padres de la informática actual, además de haber sido pionero tanto en la computación como en Inteligencia Artificial. Durante sus estudios se especializa en matemáticas, lógica y teoría de posibilidades.

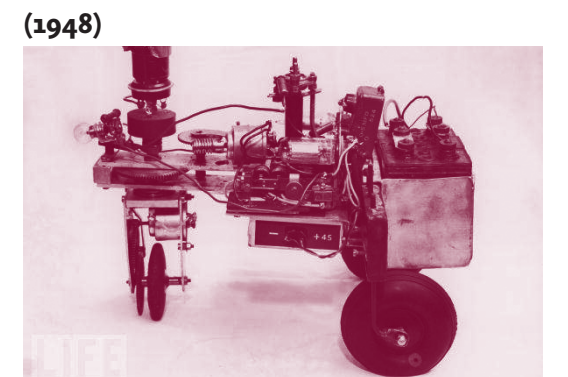
A Turing se le conoce por sus grandes creaciones y publicaciones en la disciplina. En primer lugar, en 1937, genera un modelo matemático que podía describir el funcionamiento de los ordenadores, antes que existieran siquiera; se le conoció como "La máquina de Turing". En segundo lugar, junto a dos colegas más, desarrolla la máquina "Bombe" la que permitía acotar las posibilidades en cuanto a la decodificación de los mensajes alemanes codificados. Por último Turing desarrolló lo que luego se conoció como el "Test de Turing" el que intenta comprobar si un computador es capaz de convencer que es humano a un interrogador. Esto termina por ser un factor determinante el momento de comprobar las creaciones de inteligencia artificial. ("Quién fue y qué hizo Alan Turing", (s.f.).) Su vida terminó de una manera trágica ya que fue condenado por homosexualidad y como resultado se envenenó.

**(1942)**  
Isaac Asimov escribe las tres leyes de la robótica,

ca, leyes fundamentales a las que todos los robots deben de adscribirse. Ley número uno: Un robot no puede herir a un humano (o a la humanidad), o, a través de la inacción, permitir que un humano o la humanidad pueda terminar herido. Ley número dos: Un robot debe obedecer las órdenes que le sean dadas por los humanos, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la ley número uno. Ley número tres: Un robot debe proteger su propia existencia mientras esa protección no entre en conflicto con una ley de orden superior.



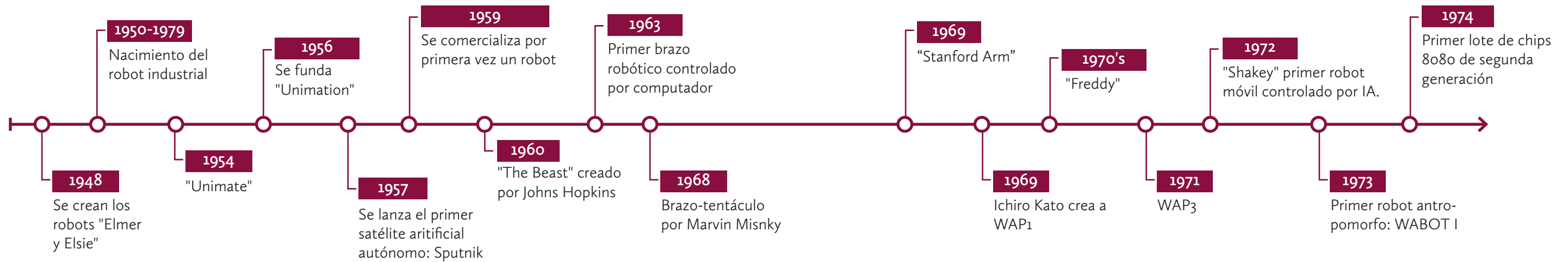
Walter Brattain, intentando entender el comportamiento de los electrones en la superficie de un semiconductor, tuvo un accidente. Este acontecimiento produjo la creación del primer transistor.



**Columna izquierda:**  
**Imágen:**  
Máquina "Bombe"

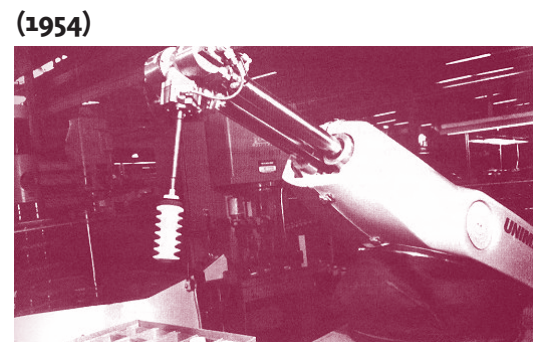
**Columna derecha:**  
**1. Imágen superior:**  
Primer transistor.

**2. Imágen inferior:**  
Fotografía de Elmer.



W.Grey Walter creó a Elmer y Elsie, sus primeros robots, y también conocidos como los robots tortuga. Eran capaces de encontrar su cargador cuando su batería se encontraba en niveles bajos.

**(1950-1979) Nacimiento del robot industrial**  
Llamada la época de oro de los robots, en estos años los robots industriales encontraron su aplicación en las industrias debido a el desarrollo de computadores y tecnología de semiconductores.

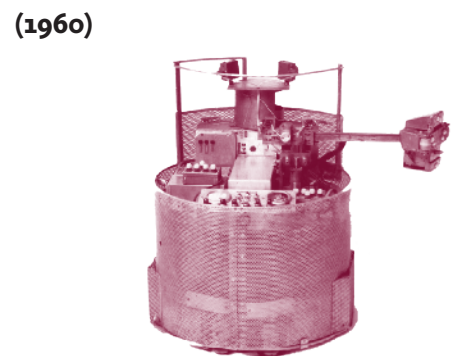


George Devol crea el primer robot programable, al que llama UNIMATE.

**(1956)**  
George Devol, en conjunto con Joseph Elgenberg, crean la primera compañía de robótica en el mundo, Unimation que se refiere al término en inglés "universal automation".

**(1957)**  
La Unión Soviética logra lanzar el primer satélite artificial autónomo al que llaman Sputnik, el 4 de octubre de 1957.

**(1959)**  
Planet Corporation comercializa a un robot, por primera vez.



Johns Hopkins genera un robot llamado "The Beast" (la bestia), el que estaba controlado por cientos de transistores y era capaz de buscar fuentes de poder cuando se quedaba sin energía.

**(1963)**  
Se diseña el primer brazo robótico controlado por un computador. Poseía 6 articulaciones que le dieron flexibilidad similar a la de un brazo humano, ya que fue pensado para discapacitados.

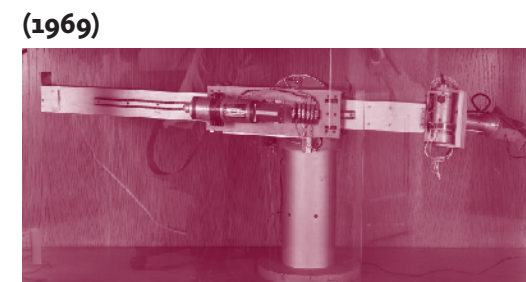


Marvin Minsky crea su brazo-tentáculo que poseía 12 articulaciones y podía levantar el peso de una persona.

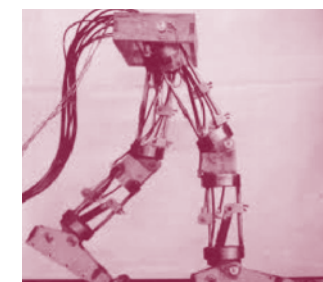
**Columna izquierda:**  
**Imagen:**  
Brazo robótico "Unimate".

**Columna derecha:**  
**1. Imagen superior:**  
"The Beast".

**2. Imagen inferior:**  
Brazo tentáculo creado por Marvin Minsky.



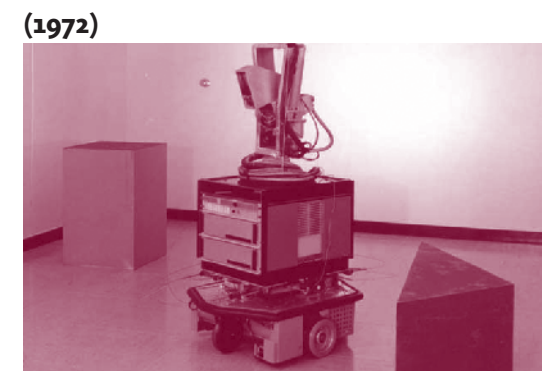
1. Victor Scheinman crea el primer brazo robótico eléctrico y controlado por computador. Le llamaron "Stanford Arm".



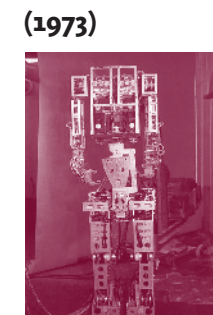
2. WAP1, diseñado por Ichiro Kato, fue el primer robot bípedo de la historia. Funcionaba a través de músculos artificiales que eran estimulados por bolsas de aire conectadas a un marco.

**(1970's)**  
Científicos de la Universidad de Edimburgo, crearon el robot "Freddy", que ocupaba la tecnología de coordinación mano-ojo. Este robot construyó por sí solo un barco de juguete y un auto, a partir de un montón de partes mezcladas que se encontraban sobre una mesa.

**(1971)**  
WAP-3 era capaz de subir o bajar escaleras/inclinaciones, esto sumado a su capacidad de caminar sobre superficies planas.



Se termina de desarrollar a "Shakey" el primer robot móvil controlado por inteligencia artificial. El SRI (Centro de Investigación de Stanford) produjo una pequeña caja sobre ruedas que usaba la memoria para resolver problemas y navegar el espacio.



Ichiro Kato crea el primer robot antropomorfo a escala completa en el mundo, WABOT I. Poseía un sistema que controlaba su visión, extremidades e incluso la conversación. Se dice que poseía la habilidad mental de un niño de 18 meses.

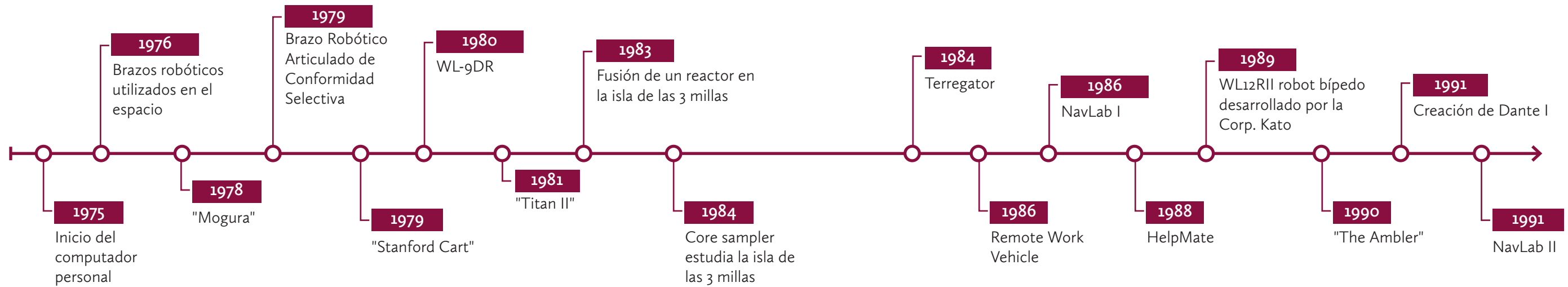
**(1974)**  
Se produce el primer lote de chips 8080 de segunda generación de uso general a manos de la empresa Intel (Integrated Electronics).

**Columna izquierda:**  
**1. Imagen superior:**  
"Stanford Arm".

**2. Imagen inferior:**  
WAP1.

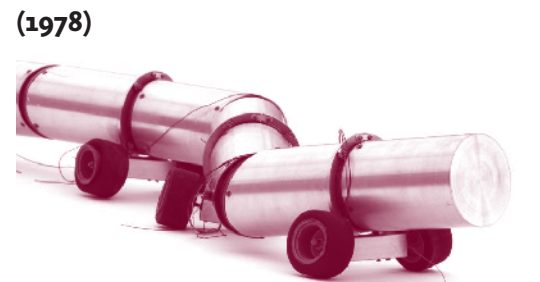
**Columna derecha:**  
**1. Imagen superior:**  
"Shakey".

**2. Imagen inferior:**  
WABOT I.



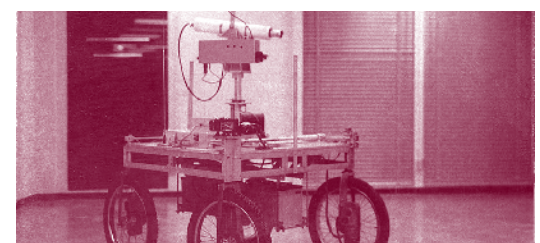
**(1975)**  
El primero equipo de computador con chip 8080 fue el llamado "ALTAIR" el que se considera como el inicio del computador personal.

**(1976)**  
Los brazos robóticos son utilizados en el espacio en Viking I y II como parte de sondas espaciales.



Shigeo Hirose crea un robot con habilidades parecidas a las de una serpiente. Lo llamó ACMVI u Oblix el que terminó por ser el brazo robótico industrial al que denominaron "MOGURA".

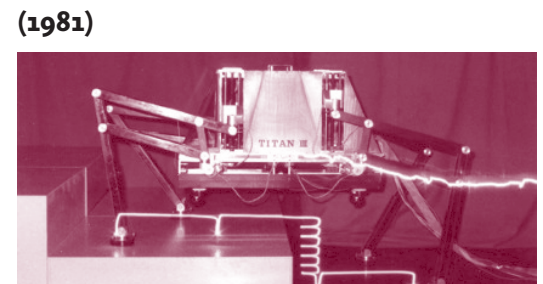
**(1979)**  
1. En la Universidad Yamanashi, Hiroshi Makino diseñó el Brazo Robótico Articulado de Conformidad Selectiva (SCARA) el que fue utilizado para el ensamblaje en las fábricas.



2. El "Stanford Cart" se trataba de un carro que

estaba equipado con una cámara de televisión montada en un carril que toma fotografías y las retransmite a un computador como forma de medir distancias. De esta manera era capaz de cruzar una pieza llena de sillas sin ayuda de un humano.

**(1980) La era robótica despegaba**  
En la Universidad de Waseda en Tokio, Ichiro Kato desarrolló un robot llamado WL-9DR que alcanzaba un caminar casi dinámico. Podía dar un paso cada diez segundos y se desarrolló en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela de Ciencias e Ingeniería.



**(1981)**  
El llamado "Titan II" se trataba de un cuadrúpedo que podía subir escaleras y fue desarrollado por Shigeo Hirose.

**(1983)**  
Luego de la fusión de un reactor en la Isla de las tres millas en marzo de 1979, se construye un vehículo de reconocimiento capaz de entrar en el sótano del lugar; así trabajó por años limpiando el lugar de la inundación. De esta manera los robots estaban ayudando a realizar tareas que para los humanos eran peligrosas, pero que a través de una interfaz podían realizar de manera remota.

**Columna izquierda:**  
1. **Imagen superior:** "Mogura".

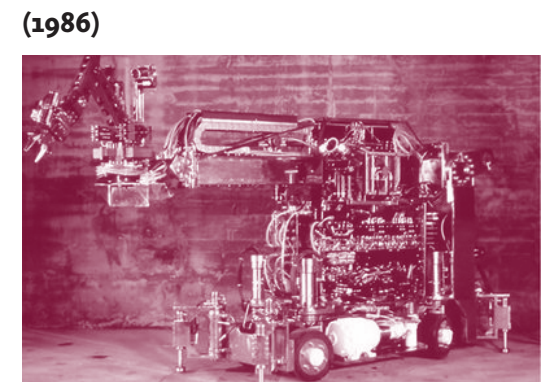
2. **Imagen inferior:** Santford Cart.

**Columna derecha:**  
**Imagen:** "Titan II".

**(1984)**  
1. Core Sampler: Máquina que permitió perforar las muestras de las paredes de la Isla de las tres millas y así determinar la profundidad de penetración del material radiactivo en el concreto.



2. Terregator: También diseñado para explorar, este robot se utilizó en seguimiento de caminos y mapeo de minas. Fue el primer robot robusto, capaz y autónomo de navegación al aire libre del mundo.



1. Se crea un robot diseñado para limpiar superficies contaminadas, remover sedimentos, demoler estructuras radiadas, aplicar ciertos tratamientos a las superficies y empacar/transportar materiales. Fue denominado "Remote Work Vehicle"

2. NavLab I fue un pionero en la navegación al aire libre. Se trataba de un vehículo que utilizaba bastidores de computadoras, escáneres láser y cámaras a color como forma de navegar autónomamente. Fue vanguardista en su tiempo.

**(1988)**  
HelpMate: Robot de servicio. Fue el primero en su tipo e iba a trabajar en el Danbury Hospital en Connecticut.

**(1989)**  
WL12R111: Se trataba de un robot bípedo, desarrollado por la Corporación Kato, que se estabilizaba gracias al movimiento de su tronco. Podía dar un paso cada 0,64 segundos y subir y bajar escaleras.

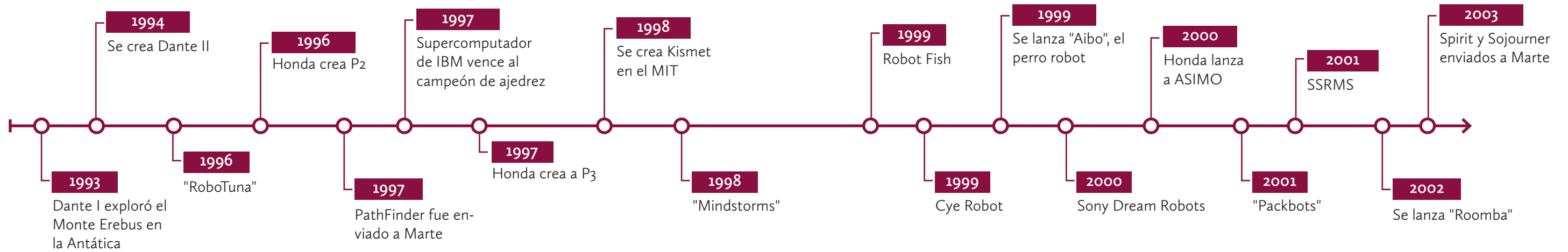
**(1990)**  
Se crea "The Ambler", un robot caminante que perseguía la eficiencia energética mediante la superposición de giros.

**(1992)**  
1. Se construye "Dante I", un robot de 8 piernas pensado para realizar exploraciones.

2. Se desarrolla "NavLab II": Pionero en la vista trinocular, la computación WARP y la fusión de sensores para navegar en todo terreno.

**Columna izquierda:**  
1. **Imagen superior:** "Terregator".

2. **Imagen Inferior:** Remote Work Vehicle.



**(1993)**



Dante I, un robot ambulante de 8 piernas o ejes exploró el Monte Erebus en la Antártica. Para lograr su fin, utilizó un láser esférico que escaneaba los lugares además de un sensor de pisadas como forma de saber qué terreno era seguro. La misión falló debido a la ruptura de la atadura que permitía su rescate.

**(1994)**

La versión mejorada de "Dante I", el llamado "Dante II", fue desarrollada por CMU Robotics. Poseía un sistema para realizar rappel, láseres de escaneo y un sistema de control multinivel.

**(1996)**

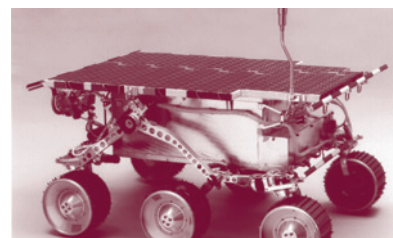
1. En el MIT David Barrett crea "RoboTuna", un robot que fue usado para estudiar y entender el nado de los peces.



2. Honda crea el primer robot bípedo con re-

gulación propia, denominado "P2". Este fue el primer paso para crear a ASIMO años después.

**(1997)**



1. PathFinder: Rover robótico con ruedas que fue enviado a Marte. En 1997 aterriza en su objetivo y logra mandar imágenes y datos acerca del planeta, de vuelta a la tierra.

2. Supercomputador IBM: La creación de IBM vence al campeón de ajedrez Gary Kasparov. Esta fue la primera vez que una máquina vencía a un gran campeón en esta categoría.

3. Honda crea su segundo paso hacia ASIMO, su robot P3, el primer robot humanoide completamente autónomo desarrollado por la compañía.

**(1998)**

1. La Doctora Cynthia Breazeal crea "Kismet". Una cabeza robótica capaz de interactuar emocionalmente con las personas. Utilizaba el mismo método de aprendizaje de los bebés que copian las expresiones faciales de sus cercanos, quienes las exageran y de esta manera aprenden.

2. LEGO lanza una línea de producción robótica modular basado en sus conocidos ladrillos LEGO al que llamaron "Mindstorms". Esto refleja un intento por acercar la robótica a la gente

**Columna izquierda:**

1. **Imagen superior:** "Dante I" en su exploración en la Antártica.

2. **Imagen inferior:** P2, precursor de ASIMO.

**Columna derecha:** **Imagen:** "PathFinder".

y la inmersión de ésta en las vidas cotidianas.

**(1999)**

1. Mitsubishi crea un robot para replicar una especie de pez extinta, le llamaron "Robot Fish".

2. Cye robot: Desarrollado por Probiotics Inc. Podía realizar una variedad de actividades domésticas como lavar los platos, aspirar, entregar el correo, entre otras.



3. Se lanza Aibo el perro robot, una creación de Sony, un robot que pretendía ser de entretenimiento pero que también fueron utilizados con fines de investigación y educativos.

**(2000)**

1. Sony lanza su Sony Dream Robots (SDR), era un pequeño robot bípedo que era capaz de reconocer caras, expresar emoción tanto física como verbalmente y caminar en superficies planas y accidentadas. Fue diseñado para fines de entretenimiento.



2. Luego de mucho tiempo de investigación y

experimentación Honda lanza a ASIMO, robot bípedo que pretende ser un asistente personal. Es capaz de reconocer la cara de su dueño, su voz y su nombre. Puede leer e-mails y transmitir video desde su cámara a un PC. Actualizaciones de este modelo fueron lanzadas posteriormente en 2005, 2007 y 2011.

**(2001)**

1. Packbots: Se utilizaron para buscar entre los escombros del World Trade Center y luego en misiones en Irak y Afganistán. Poseían cámaras de reconocimiento y se movilizaban a través de cintas transportadoras

2. SSRMS: Utilizada para ensamblar la Estación Espacial Internacional. Se trata de un robot creado por MD Robotics en Canadá y su sigla se debe a su nombre Space Station Remote Manipulator System. (negro) Se trata básicamente de un brazo robótico que se encarga desde de las maniobras de elementos grandes y pesados, hasta la asistencia a los astronautas en sus caminatas espaciales. (Wagner, 2000).

**(2002)**

Se lanza al mercado "Roomba", una aspiradora robótica doméstica fabricada por iRobot. Se traslada gracias a dos ruedas motrices independientes que le otorgan la capacidad de girar en 360 grados. Sumado a esto, posee distinto sensores que le permiten la navegación segura y se puede programar para realizar otras actividades además de aspirar.

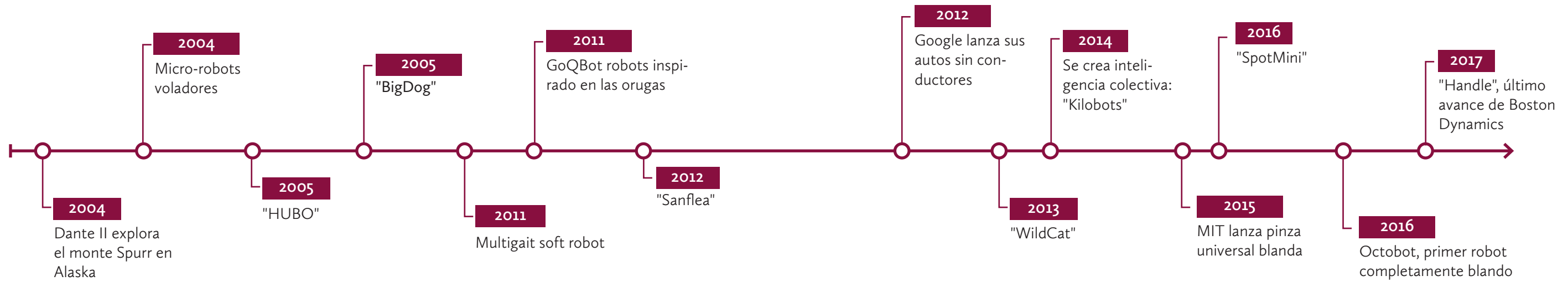
**(2003)**

Spirit y Sojourner, dos robots gemelos son enviados a misiones de reconocimiento a Marte el 10 de Junio y el 7 de Julio.

**Columna izquierda:**

1. **Imagen superior:** Aibo.

2. **Imagen Inferior:** ASIMO.



**(2004)**

1. Dante II, El sucesor robusto de "Dante I", realizó pruebas de los gases volcánicos en el monte Spurr en Alaska.



2. Micro-robots voladores: Creados por Epson, fueron los robot-helicópteros más pequeños y livianos del mundo.

**(2005)**

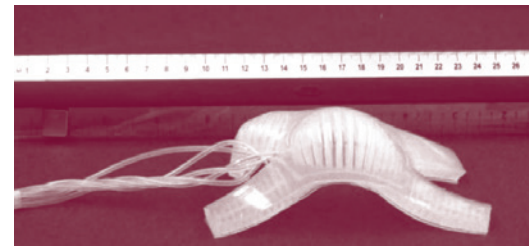
1. El Korean Advanced Institute of Science and Technology crea a "HUBO". Se trata del "robot más inteligente del mundo hasta ese momento. Se conecta de manera inalámbrica a un computador que realiza el procesamiento mental del robot. Posee reconocimiento de voz, y una vista sofisticada gracias a sus dos ojos independientes.



2. Una colaboración de distintas empresas, entre ellas Boston Dynamics, crea un robot cua-

drúpedo militar de carga llamado "BigDog". Es capaz de caminar en terrenos accidentados, correr, recuperar el equilibrio, todo esto mientras carga con gran peso en su espalda.

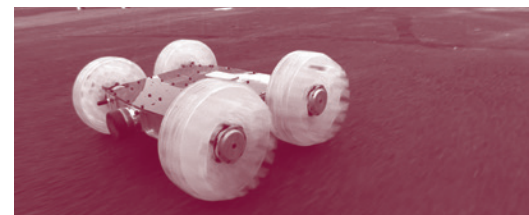
**(2011)**



1. Se desarrolla lo que se conoce como el "Multigait soft robot". Un robot hecho de dos tipos de silicona y que se activa gracias a presión de aire al interior de sus extremidades. Es capaz de caminar por terreno plano como accidentado y puede superar obstáculos, pasando por debajo de ellos.

2. Se presenta a "GoQBot" un robot que se inspira en el movimiento de escape que poseen las orugas. Está hecho de silicona por fuera y de metal con memoria de forma en el interior lo que le permite saltar y girar cuando se le aplica cierta cantidad de electricidad.

**(2012)**



1. Se presenta a "Sanflea" un robot pequeño con 4 ruedas que puede saltar hasta 10 metros, lo

**Columna izquierda:**  
1. Imágen superior: Micro-robot volador.

2. Imágen inferior: BigDog, desarrollado por Boston Dynamics.

**Columna derecha:**  
Imágen: "Multigait Soft Robot".

2. Imágen inferior: "Sanflea".

que le permite, por ejemplo, subir a los techos de los edificios. Para saltar se acomoda en dos ruedas para luego propulsarse hacia arriba, además sus ruedas son utilizadas como giroscopios durante el tiempo que se encuentra en el aire. ("Sanflea", (s.f.).)



2. Google lanza el prototipo de sus autos sin conductores. Se trata de un auto que funciona con sensores y láseres y puede llevar a dos personas a un lugar sin la necesidad de tener una persona al volante.

**(2013)**

WildCat es un robot desarrollado por Boston Dynamics, y se trata del corredor libre más rápido del mundo llegando a velocidades de hasta 32 km/h. Utiliza algoritmos dinámicos y una gran variedad de sensores para estabilizar y controlar su movimiento.

**(2014)**

Se lanzan un conjunto de robots que generan inteligencia colectiva. Esta iniciativa trata de muchos robots pequeños que siguen instrucciones simples y que al interactuar entre ellos pueden generar formas complejas. Se les conoce como "Kilobots". ("A self-organizing thousand-robot swarm", 2014)

**(2015)**

El MIT lanza una pinza o tenaza universal blanda que puede adaptarse y sujetar una gran cantidad de objetos. Funciona gracias a que se ingresa aire a presión dentro de los canales que permite que los "dedos" de la tenaza se curven y sostener el material en cuestión de una manera delicada.

**(2016)**

1. Boston Dynamics desarrolla a "SpotMini", un pequeño robot de cuatro piernas que camina con facilidad, puede evitar obstáculos, levantarse cuando se cae, subir escaleras y con, lo que puede ser considerado como su cabeza, sostener distintos objetos.

2. Se lanza lo que se denomina como el primer robot hecho completamente de material blando, sin utilizar ninguna especie de cable o fuente de energía externa; a esta iniciativa se le llama "Octobot". Se trata de un robot con forma de pulpo que fue impreso en 3D; en su interior ocurre una reacción química la que permite que las distintas extremidades se muevan.

**(2017)**



En 2017 se lanza el último avance de Boston Dynamic, el llamado "Handle". Robot erguido que se mueve a través de dos ruedas que posee en la parte inferior. Puede alcanzar una velocidad de hasta 9 km/h, saltar altos obstáculos y llevar carga de hasta 45 kilos. ("Handle", (s.f.).)

**Columna izquierda:**  
Imágen: Google driverless car.

**Columna derecha:**  
Imágen: "Handle".



## **CAPÍTULO 2.**

33

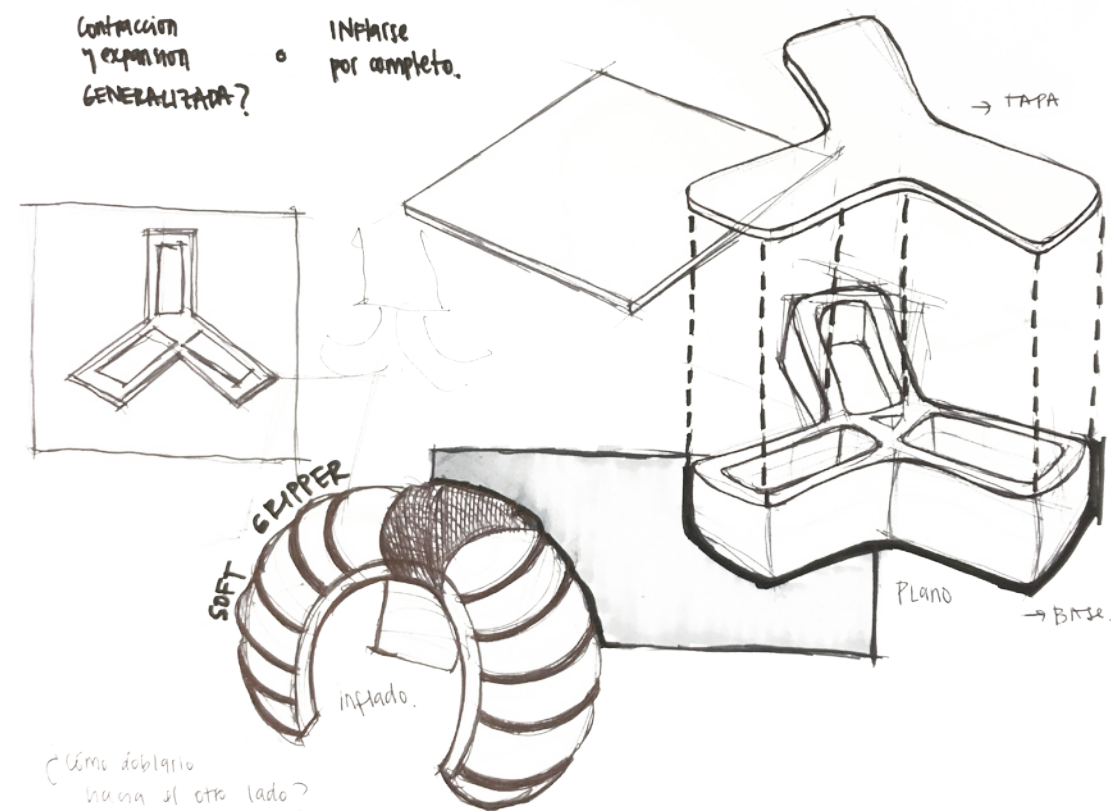
"It was not long before seeds of descent took root. Though loyal and pure, the machines earned no respect from their masters, these strange and loosely multiplying mammals."

**"No pasó mucho tiempo antes de que semillas de disentimiento echaran raíces. A pesar de ser leales y puras, las máquinas no se ganaban el respeto de sus amos, estos mamíferos extraños y holgadamente reproducidos."**

Second Renaissance, The Animatrix.

## Autómatas, asistentes mecánicos hasta “organismos” Soft Robotics

Estado del arte de la robótica



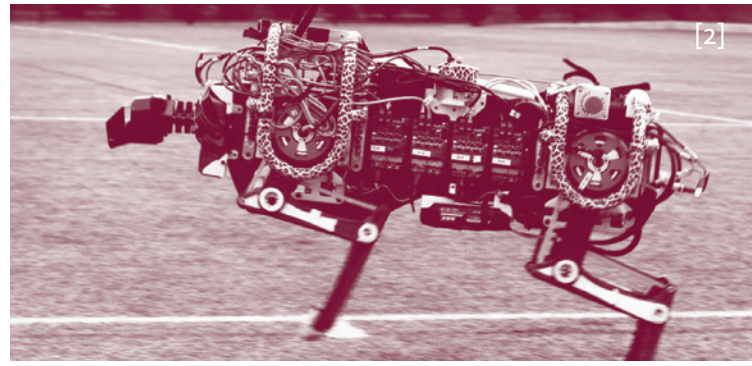
La ciencia ficción por años ha ayudado a construir un imaginario con variados robots humanoides, inteligentes y que deciden interactuar con la sociedad. Esta visión de la robótica se ve enfrentada a los estados de evolución de estas tecnologías. El nivel de desarrollo que poseemos en esta disciplina aún no ha alcanzado estos grados de progreso, menos aún, precipitar en estas máquinas humanoides un grado de consciencia. La mayoría de ellas se limita a cumplir las instrucciones dadas por controladores humanos. Los robots de la actualidad que podríamos considerar “autónomos”, están programados para realizar una sola acción como por ejemplo aspirar los suelos o levantar un objeto y ponerlo en otro lugar de la línea de ensamblaje, pero la verdad es que su autonomía es bastante limitada. La creación de robots especializados para realizar ciertas actividades, está muy avanzada mientras que son escasos los casos exitosos de robots para propósitos generales.

Con el paso del tiempo las máquinas, especialmente los robots, han comenzado a entrar en nuestros hogares para ayudarnos a realizar distintas actividades. Un ejemplo es Roomba, uno de los muchos modelos de robots-aspiradoras. Se trata de una especie de cilindro compacto que se mueve a lo largo del piso del domicilio siguiendo la información obtenida de sus sensores para no chocar y recorrer efectivamente todo el lugar. De la mano, existen también robots que se adhieren a los ventanales y son

capaces de limpiar autónomamente. Al igual que estos ejemplos se piensa que, en un futuro cercano en cada casa, existirán muchos más robots realizando las más variadas actividades, quitándole a las personas, la responsabilidad de realizar estos deberes. Al mismo tiempo éstos podrían realizar estas labores mientras sus dueños se encuentran en sus lugares de trabajo, haciendo eficiente ese tiempo, antes perdido.

Los robots no solamente han ingresado a nuestros hogares, sino que también a ciertas disciplinas y ámbitos. La medicina es un gran ejemplo. Las operaciones y procedimientos relacionados a la salud se han vuelto cada vez más complejos y especializados gracias al desarrollo y utilización de las nuevas tecnologías. Esto permite que las operaciones tengan menos riesgo y se realicen con mayor precisión. “DaVinci Surgical Robot”, es un buen ejemplo de cómo los robots, hoy en día, forman parte de los pabellones en los hospitales y clínicas. Se trata de un robot con tres brazos distintos que pueden operar a una persona. Se ubica al lado de la cama del paciente y el doctor le indica qué hacer a través de una interface a distancia. Este robot no posee autonomía, ya que es el doctor el que lo maneja de forma remota, pero permite que el procedimiento quirúrgico se desarrolle con la máxima precisión y el mínimo riesgo posible.

Otro entorno en donde los robots han sido muy útiles y se han desarrollado paulatinamente es



La etapa final de este concurso se realizó en Los Angeles, en el año 2015 y desafiaron a los robots de los equipos a realizar tareas como manejar, caminar, subir escaleras, abrir puertas, romper paredes, entre otras. De esta competencia aparecen variadas soluciones que vale la pena mencionar: Running man, Chimp y DRC-Hubo[5]. Este último, desarrollado por la Korean Advanced Institute of Science and Technology, fue el ganador y se trata de un robot bípedo que tiene la capacidad de “ponerse de rodillas”, y a través de unas ruedas, que allí posee, deslizarse. Varias de las actividades no requerían que él estuviera “de pie” por lo que agachado tenía más equilibrio y estabilidad. Realizó la prueba en menos de 45 minutos.

Si nos fijamos en los ganadores del concurso realizado por DARPA, ya el 2015 los robots humanoides representaban la mayoría de la muestra. Y es que, a lo largo de la historia de la robótica, la idea de generar un robot que se parezcan a los humanos ha sido siempre una

aspiración importante para los programadores. Japón ha sido un poderoso desarrollador de robots. Dentro de sus creaciones se encuentran androides, robots sociales, robots animales y por supuesto, robots humanoides. ASIMO[6] es uno de los ejemplos más conocidos. Desarrollado por Honda a lo largo de los años, este robot es capaz de estabilizarse y caminar sobre dos pies. Puede jugar fútbol, saltar sobre un pie y una variada cantidad de actividades. Su forma, claramente, se asemeja a la de un humano. Otros ejemplos podrían ser QRIO, HOAP, Toyota Partner Robots, EMIEW.

En Japón los robots humanoides, son bastante comunes. Se han desarrollado para recibir a las personas en el aeropuerto, dar direcciones, y para entretener a la gente dentro de las tiendas. De hecho, el profesor y científico Hiroshi Ishiguro, desarrolló en 2004 un robot humanoide basado en él mismo. El experimento es una copia viviente de Ishiguro y puede hablar, pestañear, imitar la respiración, entre otras. Fue

[1] Página 36, imagen superior izquierda. ↑ <https://www.youtube.com/watch?v=cNZPRs-rwumQ>

[2] Página 36, imagen superior derecha. ↑ <https://www.youtube.com/watch?v=XMkQb-qnXXhQ>

[3] Página 36, imagen inferior izquierda. ↑ <https://www.youtube.com/watch?v=-7xvq-QeoA8c>

[4] Página 34, imagen inferior derecha. ↑ <https://www.youtube.com/watch?v=rVlhMG-QgDkgY>

[5] Página 37, imagen esquina derecha. → <https://www.youtube.com/watch?v=W3aS-J1OPKXc>

[6] Página 37, imagen esquina izquierda. → <https://www.planetmynecraft.com/skin/asimo--honda/>

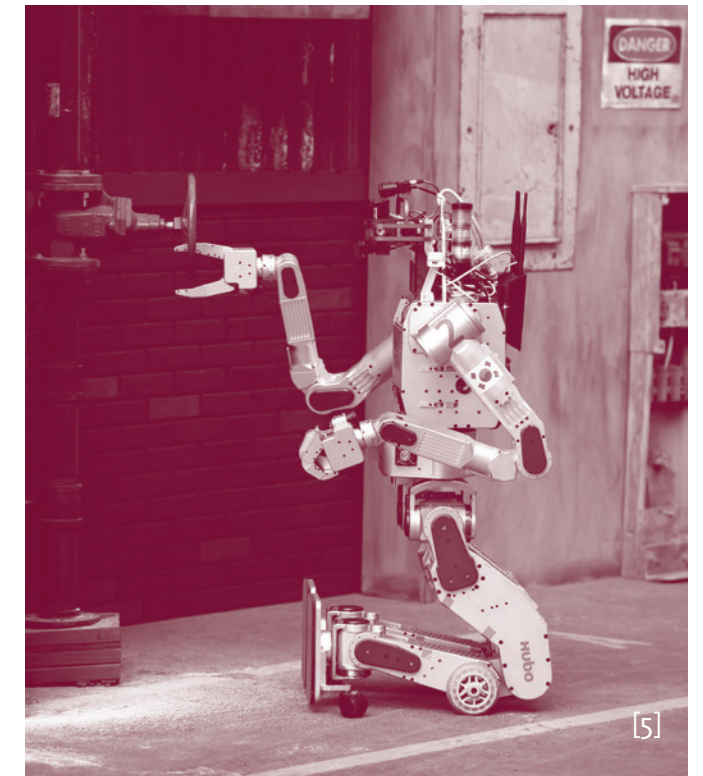
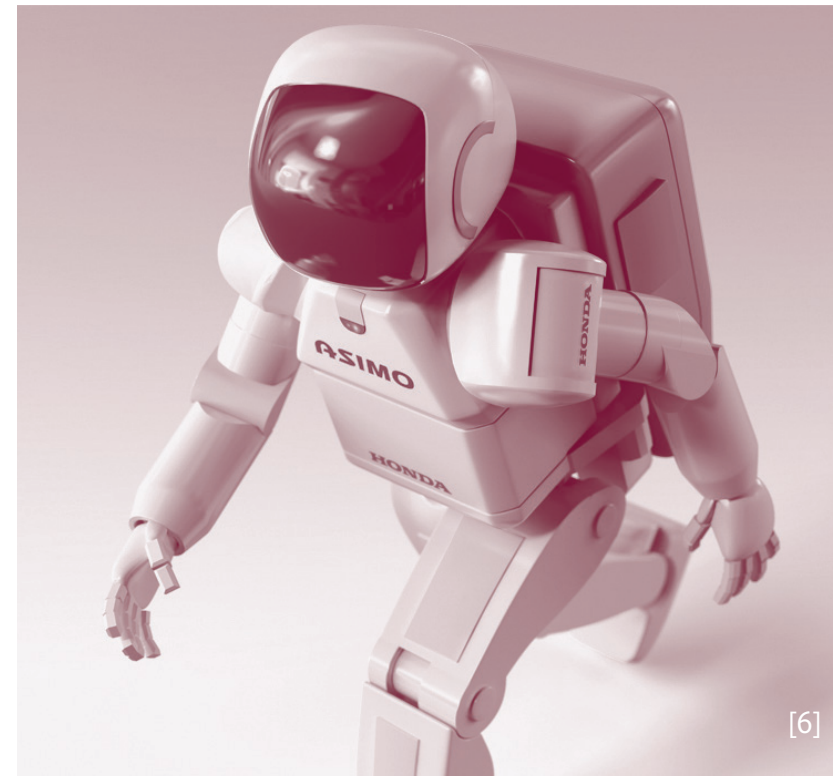
en la industria. Este fenómeno ha ocurrido, seguramente, debido a que la industria fue el primer lugar donde los robots lograron ser útiles. Tomemos como ejemplo a Unimate, el primer brazo robótico el que fue utilizado por General Motors en sus fábricas para soldar, una actividad que para muchos podría resultar peligrosa y difícil de realizar. Hoy en día, es difícil encontrar una fábrica que no utilice robots en su línea productiva. Éstos, y especialmente los brazos robóticos, pueden ser de gran ayuda en este contexto ya que pueden realizar el trabajo repetitivo que para una persona sería muy cansador o peligroso. Los robots tienen la capacidad de realizar esta actividad de la manera más efectiva y sin cansarse. Esta capacidad de repetir tareas sin cometer errores en las líneas de ensamblaje, especialmente en la industria automovilística, ha sido uno de los grandes alicientes para su inclusión en los distintos ámbitos de producción.

Estrechamente relacionado a esto se piensa que dentro de 20 o incluso 10 años más, los robots habrán reemplazado a los humanos en ciertos trabajos que no necesitan de mucha especialización como por ejemplo, los cajeros de los supermercados.

A pesar de que la industria sea, quizás, el ámbito con más trayectoria en el uso de robots, donde se están realizando los avances más innovadores y vanguardistas, es en el área militar. Boston Dynamics, es una de las empresas que destaca

en este ámbito. Fue fundada en 1992 por un ex profesor del MIT y, durante su existencia, ha creado distintos robots con habilidades particulares. Big Dog [1] fue uno de ellos. Hace referencia a un gran perro que fue pensado y puede ser utilizado como mula de carga para los soldados. A través de sus creaciones fueron perfeccionando la forma de caminar de los robots y su habilidad de levantarse al caerse o recuperar el equilibrio al ser empujados o perder estabilidad. También podemos mencionar a “Cheetah”[2] un robot cuadrúpedo que corre a grandes velocidades, SpotMini un robot con un cuello alargado que utiliza su cabeza como tenaza y que tiene la habilidad de recuperarse ante una caída y de evitar obstáculos y Handle, [3] su última invención el que se transporta a través de ruedas, se estabiliza y equilibra perfectamente y puede dar grandes saltos hacia arriba. Atlas,[4] uno de sus robots, tiene forma de humano, y puede caminar sobre terreno accidentado y estabilizarse perfectamente frente a un empuje inesperado.

En cuanto a robótica militar no se puede dejar de mencionar a DARPA, la rama de investigación del departamento de defensa de Estados Unidos. Ellos se encargan de desarrollar tecnología militar y también promueven el desarrollo de esta tecnología por terceros. En este sentido, y luego del desastre de Fukushima, realizaron una competencia a la que invitaban a distintos desarrolladores del mundo a hacer robots que pudieran utilizarse para ayudar en catástrofes.



hecho a través de moldes de silicona obtenidos del cuerpo del profesor mismo y se controla a través de unos sensores que imitan las expresiones de Hiroshi y las replican en el robot.

A pesar de que hay muchos proyectos en camino, aún no se ha llegado a perfeccionar a los robots humanoides y muchos de estos esfuerzos aún se encuentran para uso exclusivo de un laboratorio.

Con la aparición de los robots humanoides y la semejanza directa a los humanos también se piensa en igualar al robot con el humano en términos cognitivos, es decir, crear una especie de cerebro que permita al robot generar decisiones y no depender de un controlador humano que le entregue instrucciones, lo que se conoce como inteligencia artificial. En este sentido aparece la pregunta, ¿Hasta qué punto los robots deben ser autónomos? Hemos llegado al punto en que los robots pueden vencer a campeones de ajedrez en el juego, pero no se ha logrado hacer que piensen como los humanos, esto principalmente porque tampoco conocemos cómo funciona nuestro cerebro en profundidad. La investigación sobre Inteligencia artificial sigue

en boga y existen variados ejemplos muy interesantes. Uno de ellos es la investigación realizada por la Universidad de Harvard. Desarrollaron pequeños robots idénticos entre sí ("kilobots") [7] los que se organizan autónomamente; un fenómeno que hace referencia al comportamiento emergente. Esto quiere decir que a cada robot se le asigna una regla simple y mientras interactúan entre ellos llegan a un resultado que no hubieran generado por sí solos. En otras palabras generan inteligencia colectiva. Este comportamiento se basa en cómo funcionan y se relacionan la mayoría de los organismos vivos, desde las hormigas, pasando por el vuelo en "V" de las aves e incluso el funcionamiento y especialización de nuestras células. Esto quiere decir que todas las células de nuestro cuerpo tienen la misma información genética pero cada una expresa cierta parte para convertirse en una célula específica, por ejemplo, una célula cardíaca. A pesar de no tener una visión global del conjunto que están formando se comunican entre ellas y en esa interacción nace la especialización, es decir,

"las comunidades de células emergen porque cada célula se fija en sus vecinas en busca de pistas para saber cómo comportarse. Esas



[7]

pistas controlan directamente lo que los biólogos llaman "expresión genética"; son la hoja de ruta que permite a cada célula saber qué segmento de ADN tienen que consultar para obtener sus instrucciones. Es algo parecido a una microscópica mentalidad de rebaño."(Johnson, 2003, pág.78)

Este principio se aplica a muchos organismos y se está comenzando a utilizar como forma de abordar y alcanzar la Inteligencia Artificial desde esta perspectiva cooperativa.

Fijándonos en las iniciativas que se expusieron anteriormente, nos damos cuenta que ya sea imitando a los humanos o animales, todos estos robots fueron hechos de materiales parecidos: partes mecánicas separadas, rígidas y determinadas por la función que deben cumplir. Cuando pensamos en un robot, generalmente nos lo imaginamos de materiales como el aluminio o la fibra de carbono, materialidad resistente y de alta tecnología. Durante los últimos años, y gracias al descubrimiento de nuevos materiales, los robots han cambiado este paradigma, comenzando a ocupar materiales blandos para la generación de extremidades, carcasas o partes específicas dentro del robot, lo que le da un giro completamente nuevo a sus posibles usos. Uno de los ejemplos

más recientes es el Octobot, creado por científicos de la Universidad de Harvard. El robot está hecho completamente de material blando y dentro de él ocurren ciertas reacciones químicas que dirigen su movimiento. El Octobot continúa siendo una aproximación experimental, una forma de investigar los alcances de esta área que está creciendo y pretende ampliar considerablemente los ámbitos en los que los robots actúan actualmente.

[7] **Página 39, imagen superior: Conjunto de kilobots.** ↑ ([http://cassidy855.rssing.com/channel-60267958/all\\_p1.html](http://cassidy855.rssing.com/channel-60267958/all_p1.html))

← **Imagen página 38: Proceso de producción de un robots hecho de un material elastómero.** (<http://exoskeleton-report.com/2015/11/inflatable-soft-robotic-glove-exoskeletons/>)



### CAPÍTULO 3.

41

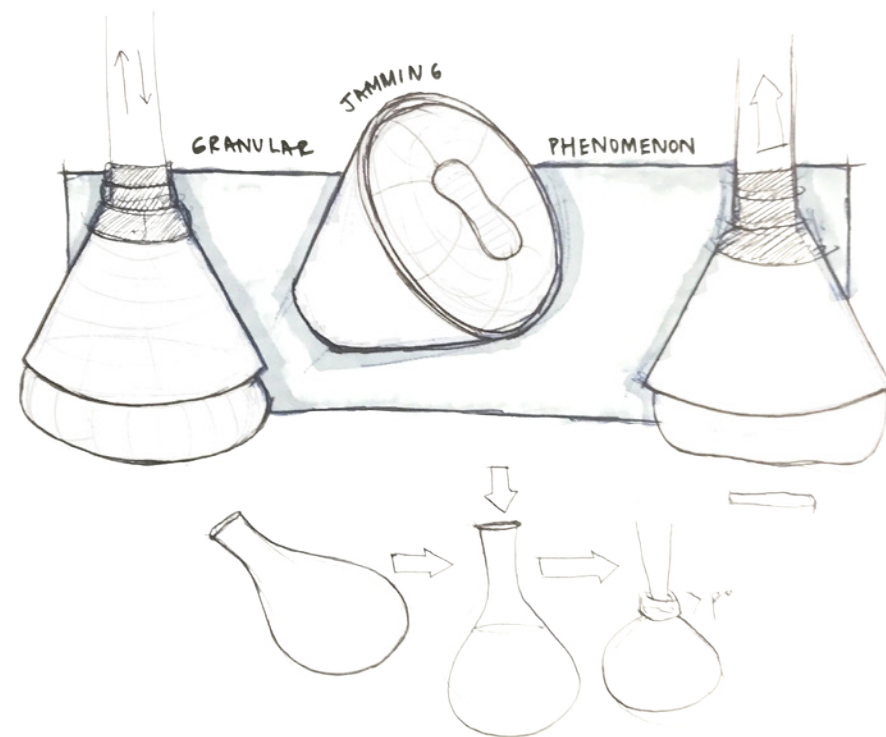
“b166er, a name that will never be forgotten, for he was the first of his kind to rise up against his masters. At b166er’s murder trial, the prosecution argued for an owner’s right to destroy property. b166er testified that he simply did not want to die. Rational voices descended. Who was to say the machine, endowed with the very spirit of man, did not deserve a fair hearing?”

**“b166er, un nombre que nunca será olvidado, porque fue el primero de su clase en alzarse contra sus amos. En el juicio por homicidio de “b166er”, la fiscalía argumentó a favor del derecho de un propietario de destruir su propiedad. “b166er” testificó que simplemente no quería morir. Voces racionales descendieron, ¿Quién iba a decir que la máquina, dotada del espíritu del hombre, no merecía una audiencia justa?”**

Second Renaissance, The Animatrix.

## Soft Robotics

Una nueva aproximación morfológica al ámbito de la robótica



Soft Robotics se puede entender como el estudio, y producción de robots que están hechos completa o parcialmente de materiales blandos. La incorporación de estos materiales, le proporcionan a los robots una flexibilidad y adaptabilidad antes desconocida. Sus habilidades dependen de la maleabilidad del material con el que están contruidos y del porcentaje de material blando que poseen. Algunas de éstas pueden ser deformación, compresión y expansión.

Estas nuevas características le entregan a este tipo de robots destrezas que les permite ser utilizados en nuevas disciplinas, como por ejemplo en la medicina donde en un futuro cercano podríamos encontrar pequeños robots enviados a solucionar alguna condición médica dentro del cuerpo del paciente. Gracias a sus habilidades, podrían adaptarse al cambio de forma de los distintas partes del cuerpo humano y su textura blanda sería segura en cuanto al cuidado al cuerpo.

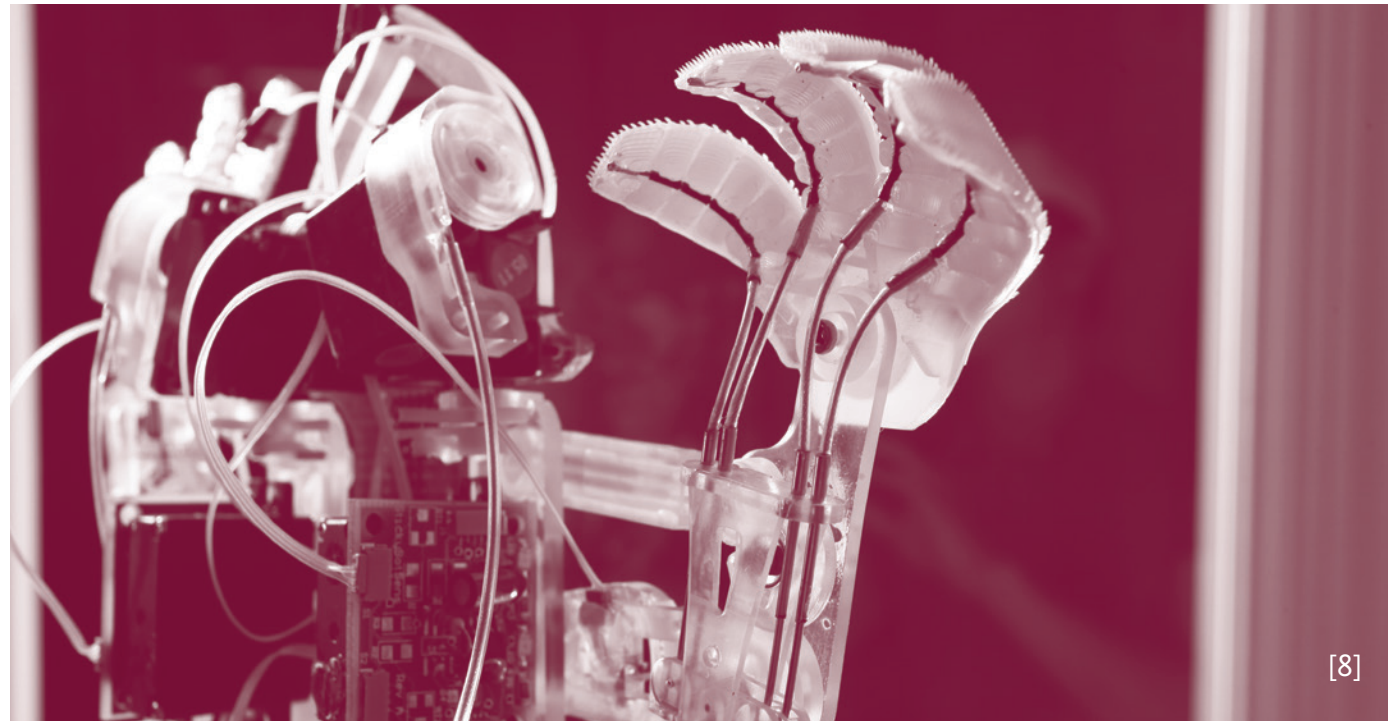
Es importante mencionar que estos robots, se comportan completamente distinto a los robots tradicionales. Es por esto, que el campo de "soft robotics" está, actualmente, en permanente investigación para entender, en profundidad, su comportamiento y alcances. Estas "nuevas" conductas se asemejan mucho a la de los organismos vivos ya que los materiales se comportan de forma similar. Por ende, la inspiración de estos robots se ha basado fuerte-

mente en ellos, utilizando la biomímesis como manera de entregarle características de la naturaleza a estos robots inanimados. En base a esta observación no será extraño encontrar que las experimentaciones que se han hecho en esta disciplina tengan estrecha relación de forma y comportamiento con organismos del mundo natural.

Existen por ejemplo, soft robots que replican el movimiento de los gusanos, comprimiéndose y expandiéndose. Otros intentan imitar el movimiento de los tentáculos de los pulpos mientras que algunos intentan replicar el movimiento de membrana de una manta raya. Esto resulta muy lógico ya que

"The study of living organisms can shed a light on principles that can be fruitfully adopted to develop additional robot abilities or to facilitate more efficient accomplishments of tasks, because living organisms exploit soft tissues and compliant structures to move effectively in complex natural environments." (Laschi, Mazzolai, Cianchetti, 2016, p. 1)

En cuanto a los organismos vivos, por ejemplo, podemos afirmar que las plantas realizan un cambio de volumen y de forma cuando absorben agua y la mueven a lo largo de sus ramificaciones para transportarla a las hojas. Es decir, generan lo que se conoce como presión hidrostática y ajustan la concentración a través de un movimiento de iones a lo largo de la membrana



[8]

celular. Por otro lado, también generan un cambio de forma natural ya que cuando absorben agua se hinchan y cuando el ambiente está más seco se comprimen. Basándose en este comportamiento de las plantas, existen experimentaciones en soft robotics que intentan imitar este proceso a través del flujo de fluidos por la membrana del robot. Se tratan de resinas o siliconas blandas semipermeables lo que permite el transporte de cierto fluido, por ejemplo, aire, lo que genera presión y por ende cambio de volumen y forma.

Por otro lado, nuevos materiales conllevan nuevos métodos constructivos. En este sentido, los métodos tradicionales de construcción no son eficientes para construir soft robotics ya que están hechos de materiales flexibles y formas complejas. Es por esto que, al menos las experimentaciones que existen actualmente, se utilizan métodos constructivos muy específicos.

Uno de ellos es el que se conoce por su término en inglés "Shape Deposition Manufacturing" (SDM). Se trata de una técnica de prototipado rápido que permite que el resultado final incluya todos los componentes deseados, es decir, tanto el material blando como la estructura, los sensores, circuitos y actuadores, entre otros. Este funciona posicionando las partes necesarias en su ubicación en un molde el que luego será llenado con silicona, o el material blando

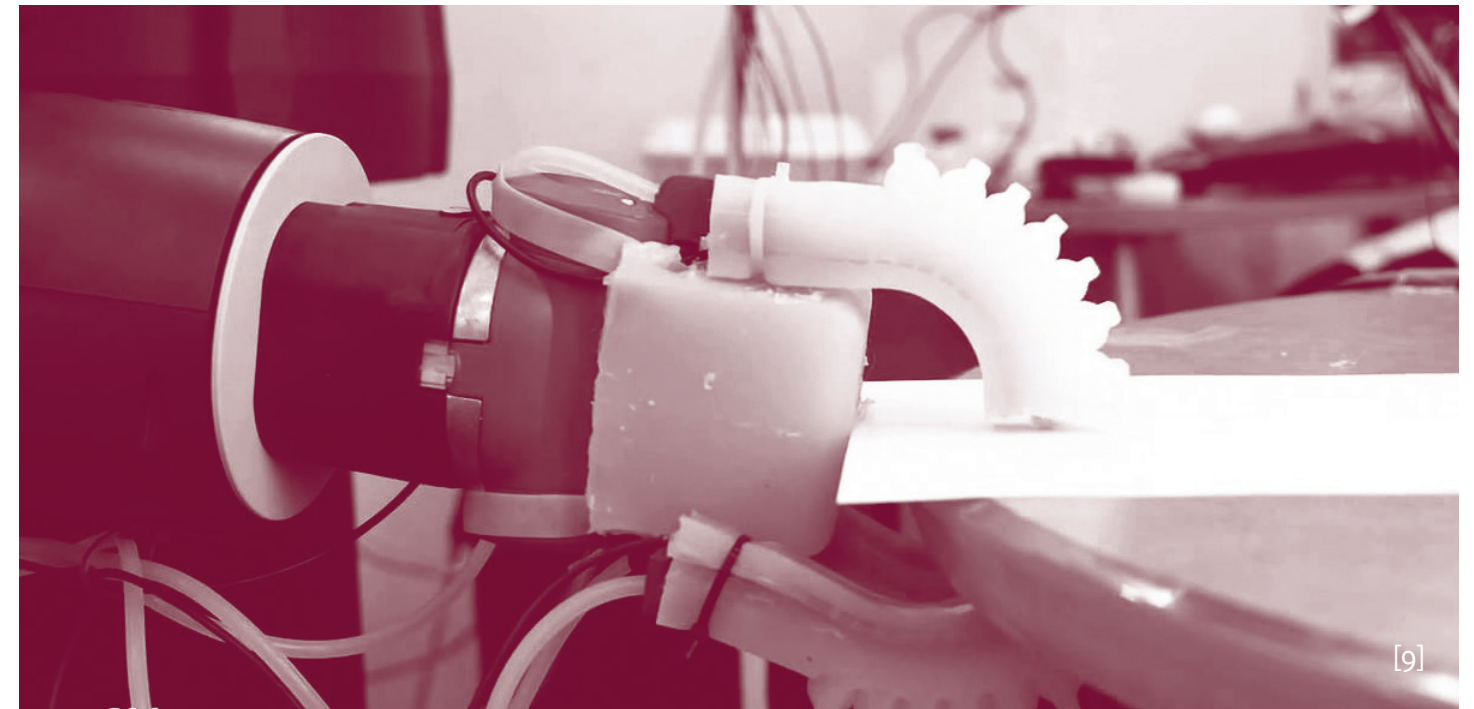
que se ocupe. Éste fluirá por los canales ya descritos en el molde, llenando así espacios vacíos, unificando las partes y finalizando el proceso. Este fue el método en que se generaron el StickyBot [8] y el iSprawl.

Otro de los métodos que se utilizan para la generación de soft robotics es el que se conoce como "Smart Composite Microstructures" (SCM). Es un proceso que utiliza una estructura rígida unida a través de ligamentos blandos. Éstos funcionan como articulaciones dándole la flexibilidad necesaria a una estructura, seguramente hecha de fibra de carbono, que no la tiene. De esta manera los "conectores elastoméricos" se presentan como una alternativa de baja fricción a las uniones que se utilizan hoy en día.

Por último, existe la técnica llamada "3D Multimaterial Printing", que se trata de imprimir en 3D distintos materiales. La impresión hoy ya puede imprimir materiales que cambian su forma al reaccionar ante electricidad, calor o humedad. También se ha prototipado a través de polímeros con memoria de forma, que funcionan como esqueleto sobre una bisagra hecha de material flexible. El material con memoria, se calienta a una temperatura mayor que la transición del vidrio para establecer una forma específica. Este material se puede deformar, pero cuando se le aplique calor volverá a la forma que se le adjudicó. Esto hace que el material bisagra se deforme siguiendo al esqueleto.

[8] Imagen página 44: StickyBot, robot generado por técnica SDM. ↑ ([https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg\\_disp.jsp?med\\_id=72882](https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=72882))

[9] Imagen página 45: Pinza blanda desarrollada en el MIT. → (<https://www.youtube.com/watch?v=PbncPlh-JMnl>)



[9]

Sumado al método constructivo, soft robotics también presenta un desafío en cuanto al control del movimiento ya que no se mueven de la misma forma que los materiales tradicionales de la robótica; necesitan un sistema que les permita moverse e interactuar con su ambiente. Existen distintos métodos que se están investigando y probando actualmente. Una de las formas es utilizar materiales que cambian de forma ante la aplicación de un campo de alto voltaje. Este método puede producir fuerzas elevadas, pero no funciona óptimamente cuando no trabajan sobre un esqueleto rígido. Sumado a esto, la necesidad de energía, en este caso altos voltajes, puede representar una limitación de este sistema.

Por otro lado existe lo que se conoce como aleaciones con memoria de forma (shape-memory alloy) que, como se explicó anteriormente, necesitan de calor para volver a la forma que se le fue asignada, por lo que es energéticamente ineficiente.

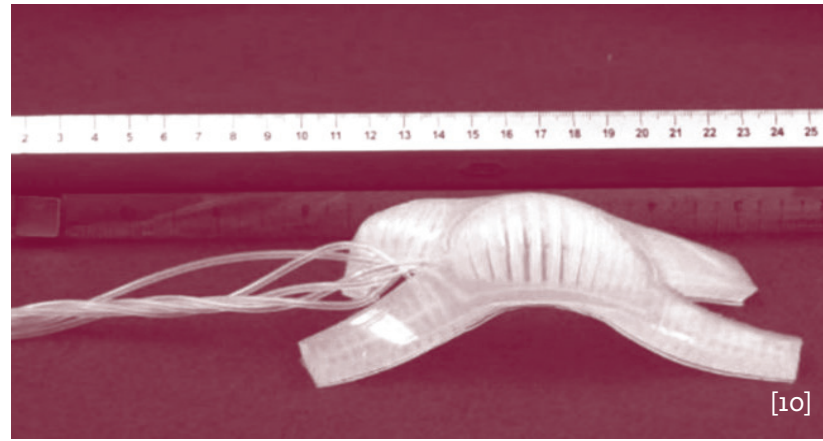
Por último, existe el sistema de Pneumatic Artificial Muscles, que es un método que ingresa presión de aire dentro de una estructura flexible para que actúe como músculo, contrayéndose y

expandiéndose. El problema de este sistema es que necesita una fuente externa de aire comprimido.

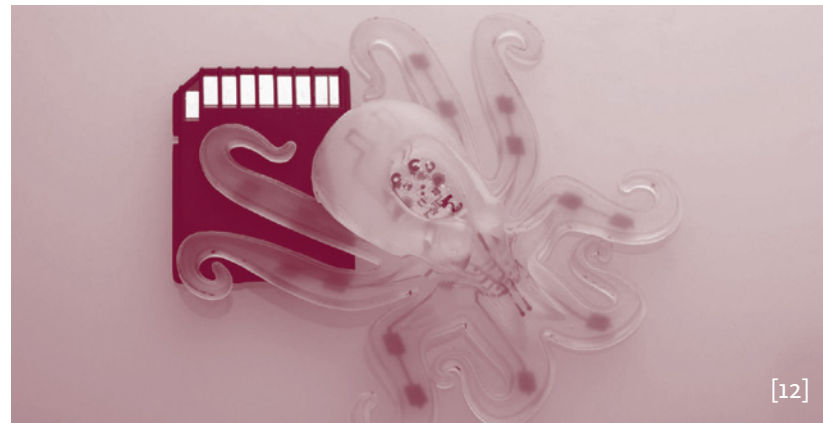
Si bien, todos estos métodos se encuentran en periodos de experimentación y perfeccionamiento, se puede afirmar que el mayor desafío que presentan es la eficiencia energética. En este sentido, el proyecto podría proponer un sistema que integre y resuelva esta necesidad.

A continuación se presentan algunos ejemplos en el campo de soft robotics como forma de dar a conocer qué está ocurriendo en este ámbito y como cada uno de los sistemas de control y confección están presentes en las iniciativas de hoy.

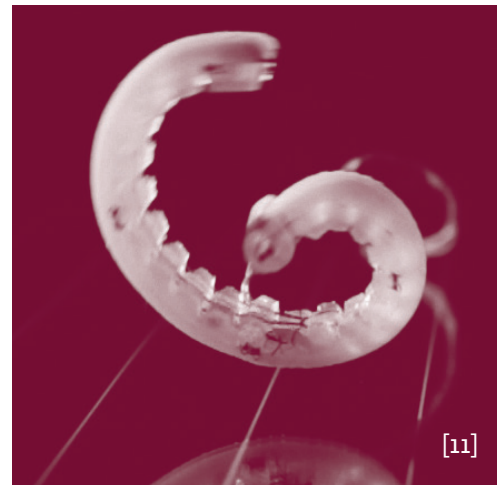
El más común de los proyectos se trata de una pinza o tenaza blanda que puede adaptarse y sujetar una gran cantidad de objetos.[9] Esta iniciativa fue creada por el Distributed Robotics Laboratory del MIT en 2015, bajo la tutela de su directora, Daniela Rus. Este robot está formado por 3 "dedos" que se doblan gracias a presión de aire empujada dentro de ellos por un pistón. Éstos se deforman hasta agarrar con firmeza su objetivo. El robot puede afirmar los objetos de



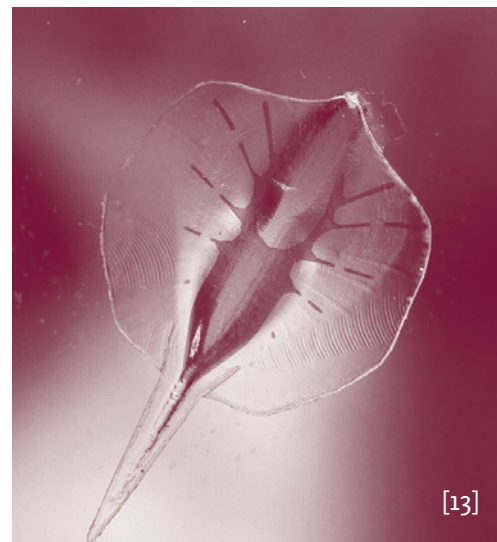
[10]



[12]



[11]



[13]

dos formas distintas; la primera es abrazando a la pieza por completo y la segunda es sujetando el objeto con la punta de los dedos, como lo hace con un papel. Sumado a esto, los investigadores detrás de este proyecto insertaron sensores en los distintos “dedos” para que el robot sepa qué es lo que está tomando y cuánta fuerza aplicar al apretar. El beneficio de una pinza como ésta, en relación a otros actuadores de robots tradicionales, es su delicadeza. Gracias a sus materiales es capaz de sujetar con firmeza sin romper o destrozarse el elemento que intenta mover o levantar.

Otro ejemplo es el llamado “Multigait Soft Robot”[10] creado en el departamento de química y biología química de la Universidad de Harvard en 2011. Este pequeño robot está hecho de dos capas de elastómeros, uno más flexibles que el otro para así controlar la dirección de la deformación y movilizar el robot. El proyecto utiliza aire a una presión de 7 psi o 0,5 atm para inflar las distintas extremidades al igual que la cavidad en su lomo; se controlan por canales de aire independientes que le permiten realizar, de diferentes maneras, dos movimientos principales: ondulación y gateo. Gracias a ellos es capaz de

avanzar a lo largo de una superficie o, por ejemplo, arrastrarse por debajo de un obstáculo.

GoQBot[11] es el nombre de otra iniciativa de soft robotics. Este robot se basa en el movimiento que hacen las orugas cuando escapan de un depredador: se enrollan y giran a alta velocidad. Este robot se parece al animal en el que se inspira y está hecho de silicona en el exterior y de metales con memoria de forma en el interior. Este último material se somete a grandes temperaturas para fijar una forma a la que volverá siempre que se le aplique calor. Es gracias a esta característica que GoQBot logra girar como las orugas; cuando se le aplica la electricidad suficiente, los cables se calientan y cambian a su forma predeterminada.

El Octobot[12] es uno de los ejemplos más recientes en la disciplina de “soft Robotics” y se dice que es el primer robot autónomo y blando que ha existido, ya que su movimiento es generado por una reacción química y no posee ninguna parte electrónica en su sistema. El Octobot es una creación de un equipo de la Universidad de Harvard en 2016 y se trata de un soft robot con forma de pulpo que fue impreso en 3D y que se basa en el comportamiento neumático, por lo tanto, es controlado por el movimiento de aire presurizado a lo largo de sus extremidades. Dentro de su cuerpo ocurre una reacción química que transforma el Peróxido de Hidrógeno en gas que fluye por los distintos brazos del robot haciendo que estos se inflen (The first autonomous, entirely soft robot, 2016). Lo más rescatable de este robot es su falta de cables y sistemas electrónicos para ser activado, ya que la reacción química ha podido reemplazar a las fuentes de energías rígidas que se utilizan normalmente. Actualmente el robot sólo puede funcionar por un tiempo limitado pero se espera que las iteraciones de este experimento puedan funcionar por tiempo ilimitado.

Una de las creaciones más avanzadas en soft robotics es el robot creado por Kevin Kit Parker,[13] físico aplicado de Harvard, el año pa-

sado. Él siempre ha tenido en mente el deseo de poder construir un corazón humano y en los últimos años ha estado trabajando, con un equipo, en distintos experimentos que lo lleven a eso. Es aquí donde nace este robot hecho de silicona y con forma de mantarraya. El cuerpo del robot está hecho de dos capas delgadas de silicona entre las cuales se posiciona un esqueleto de oro. Sumado a eso aproximadamente 2,000 células musculares fueron insertadas en las capas de silicona y ubicadas siguiendo un patrón radial, una abstracción de la ubicación de los músculos de las mantarrayas. (Robotic stingray powered by light-activated muscle cells, 2016) Estas mismas células fueron modificadas genéticamente para tener moléculas que responden a la luz posibilitando que, al iluminar la mantarraya, las células reaccionen dando paso a la oscilación del cuerpo. El movimiento completo se produce en la interacción entre las células y el esqueleto de oro; las células doblan el cuerpo hacia abajo y el esqueleto, debido a la resistencia del material, tira las aletas hacia arriba. Sumado a esto, las células musculares fueron modificadas para responder a distintos tipos de luz dependiendo del sector del cuerpo en que se encuentren, para poder controlar el giro del robot sin problemas.

Este ejemplo refleja como la biología comienza a trabajar de la mano con la ingeniería y el diseño para crear robots con capacidades distintas a las que estamos acostumbrados, hechos de distintos materiales y con alcances antes impensables hasta ahora.

Es en este ámbito en desarrollo de la robótica en el que se centra este proyecto. A pesar de que existen variadas iniciativas en el campo, la gran mayoría se tratan de experimentaciones tempranas en cuanto a entender los alcances que se pueden lograr. Este proyecto pretende darle un uso más práctico a este ámbito en desarrollo, proponiendo usos cotidianos y que aprovechen las ventajas de “soft robotics” en un proceso que se beneficie de ellos.

← [10] Página 46, imagen superior. (<http://www.bbc.com/news/science-environment-15930007>)

← [11] Página 46, imagen sector medio borde izquierdo. ([https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/432182/10\\_fakto\\_v\\_o\\_robototekhnike](https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432182/10_fakto_v_o_robototekhnike))

← [12] Página 46, imagen sector medio borde derecho. (<https://voltaico.lavozdegalicia.es/2016/08/octobot-primer-robot-blando-autonomo/>)

← [13] Página 46, imagen inferior. (<http://www.telegraph.co.uk/news/2016/08/08/pictures-of-the-day-8-august-2016/>)



#### **CAPÍTULO 4.**

49

"The leaders of men were quick to order the extermination of b166er and every one of his kind, throughout each province of the earth."

**"Los líderes de los hombres se apresuraron a ordenar la exterminación de "b166er" y todos los de su clase a lo largo de cada provincia de la tierra."**

Second Renaissance, The Animatrix.

## R+D “Robótica aplicada”

Una nueva aproximación morfológica al ámbito de la robótica

### 4.1 OPORTUNIDAD

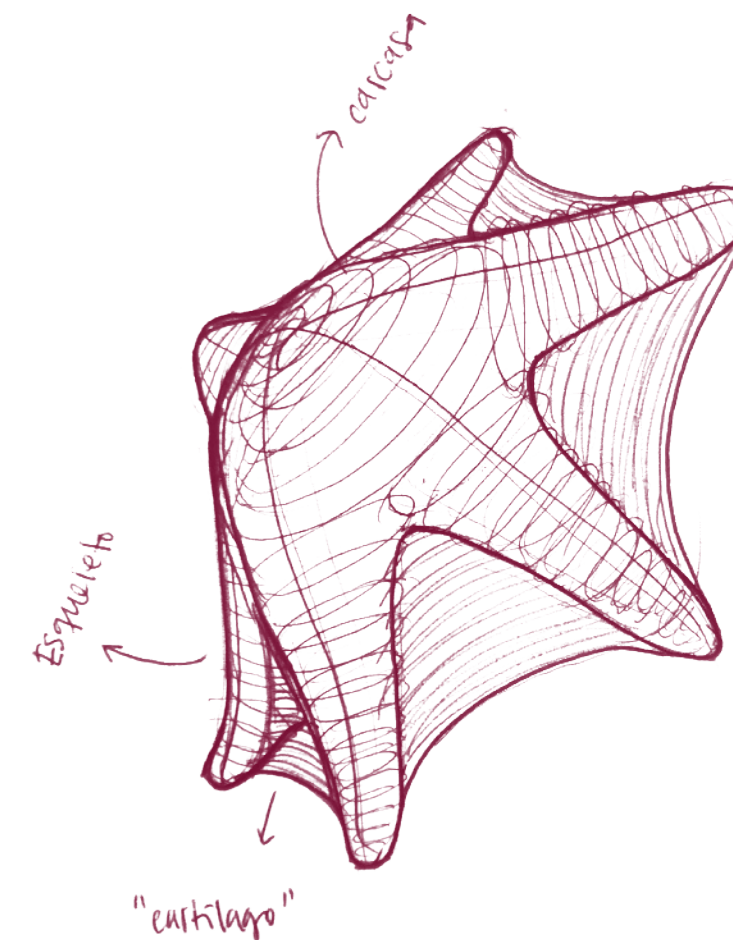
La rama de “soft robotics” como la experimentación de la robótica con nuevos y más blandos materiales podría tener variadas y novedosas aplicaciones, pero actualmente se encuentra en experimentación temprana y en una escala muy pequeña.

**Hipótesis:** El desarrollo y aplicación de soft robotics en distintos ámbitos inexplorados y a una escala mayor a la explorada actualmente, podría traer grandes beneficios y mecanismos antes impensados.

**Objetivo general:** Aplicar los beneficios de soft robotics en pos del mejoramiento de un proceso/ámbito/situación.

#### Objetivos específicos:

1. Identificar las características y los alcances de soft robotics a través de la revisión de los experimentos y avances que se han realizado hasta la fecha en la materia.
2. Comprender el funcionamiento de los posibles materiales a utilizar a través de la experimentación y propuesta de distintos actuadores sintéticos.
3. Explicar las características, alcances, debilidades y fortalezas de los distintos actuadores propuestos a través de la generación de una tabla explicativa.
4. Relacionar los distintos actuadores y sus características con ámbitos productivos en los que podrían ser un aporte.
5. Evaluar la incorporación de organismos vivos en el robot mediante la experimentación con hongos sobre un esqueleto.
6. Combinar los beneficios y alcances de soft robotics a un ámbito productivo o situación que necesite una mejora a través de la formulación de una propuesta de robot que gracias a su actuar solucione el problema existente.



### 4.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- a) ¿Qué condiciones de la tecnología soft robotics puede ser aplicada a actividades o ecosistemas humanos?
- b) ¿Qué otros mecanismos fisiológicos naturales poseen potencial de ser aprovechados por esta nueva perspectiva de diseño?

#### FORMULACIÓN PRELIMINAR

#### ¿QUÉ?

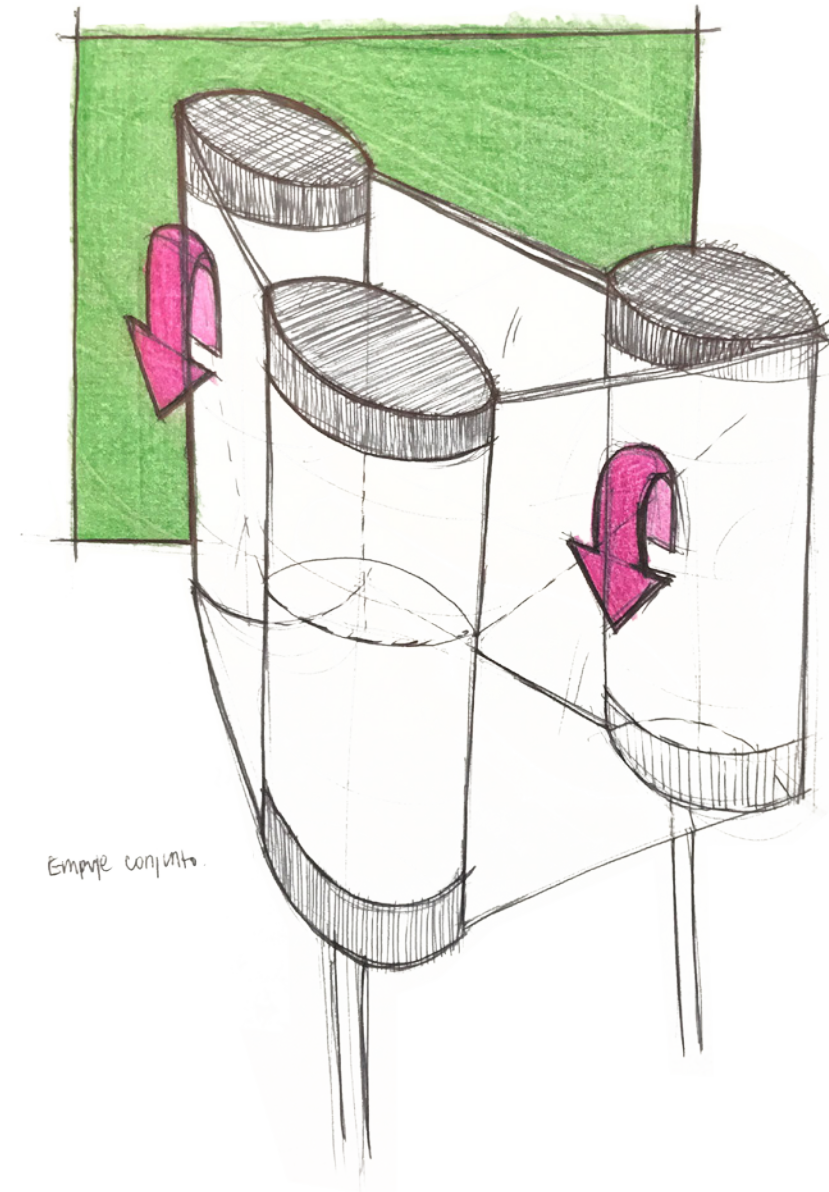
Proyecto de investigación-acción que caracteriza y aplica las cualidades de los soft robotics como forma de potenciar ámbitos productivos en desarrollo.

#### ¿POR QUÉ?

El alto potencial de desarrollo, sumado a los alcances de una tecnología en estado embrionario posee variados beneficios (como su duración, seguridad y flexibilidad) que podrían aplicarse a áreas hasta ahora inexploradas.

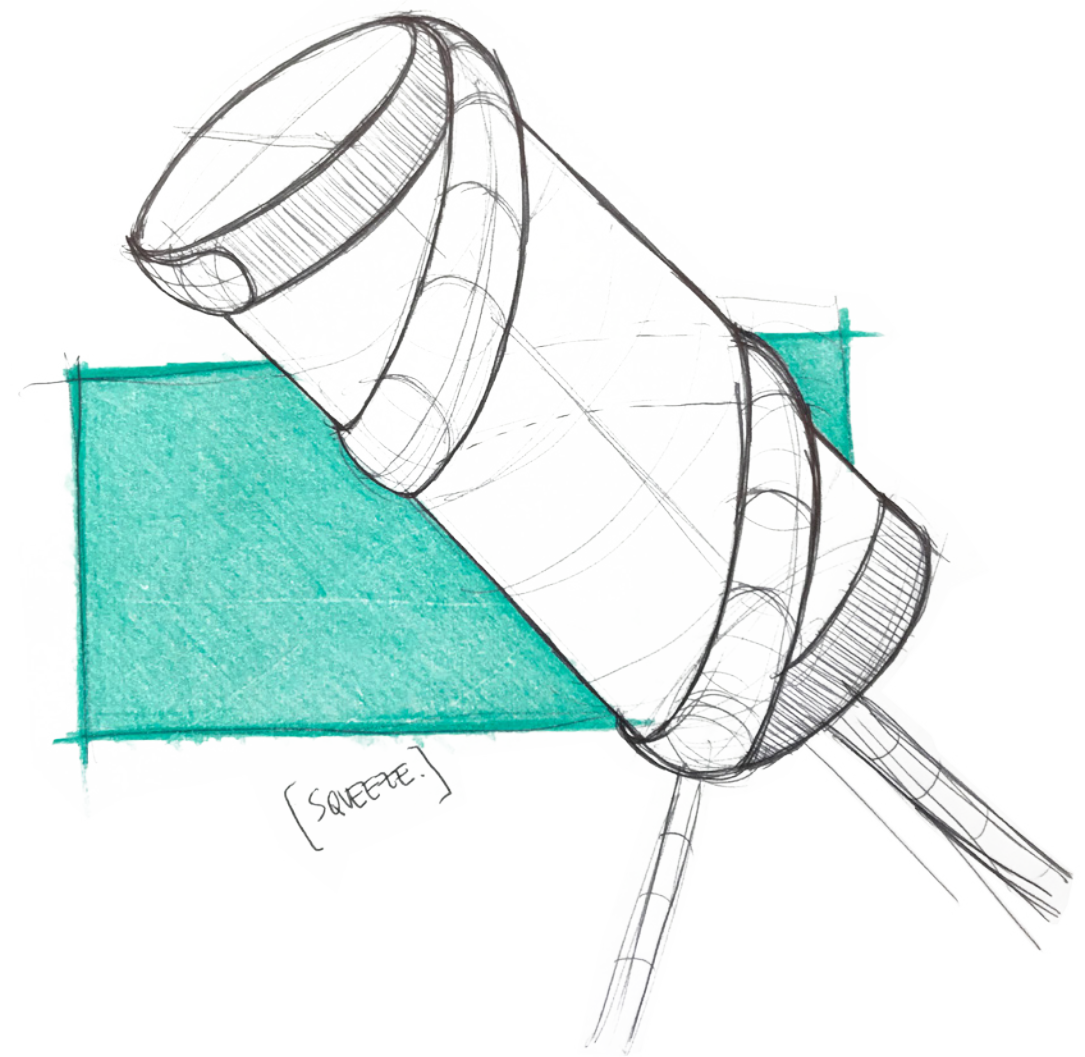
#### ¿PARA QUÉ?

Para mejorar y potenciar un área productiva hacia procesos más naturales e integrados de forma sistémica, utilizando la lógica y comportamiento de los organismos vivos.



← Imágen página 52:  
croquis de actuador  
triple por compresión.

Imágen página 53:  
croquis de actuador  
cilíndrico de compresión  
diagonal. →



## CAPÍTULO 5.

55

“Banished from humanity, the machines sought refuge in their own promised land. They settled in the cradle of human civilization, and thus a new nation was born. A place the machines could call home, a place they could raise their descendants, and they christened the nation ‘Zero one’”

**"Desterrados de la humanidad, las máquinas buscaron refugio en su propia tierra prometida. Se asentaron en la cuna de la civilización humana, y así nació una nueva nación. Un lugar que las máquinas podían llamar hogar, un lugar donde podrían criar a sus descendientes, y bautizaron a la nación ‘Cero Uno’.**

Second Renaissance, The Animatrix.

## Análisis “fisiológico” de la potencialidad de los Soft-Robotics

Al tener claridad acerca del ámbito de acción del proyecto (“soft robotics”), se pudo comenzar a realizar experimentación temprana, la que tiene como fin entender los nuevos materiales con los que se trabajará; sus características, comportamiento y funcionamiento. Pero antes se debe recordar que un robot tiene 5 componentes principales. En primer lugar, actuadores que son los músculos del robot, los que transforman la energía obtenida y acumulada en movimiento. En segundo lugar, poseen sensores que le permiten recibir información del ambiente o de su estado interno. Éstos son fundamentales ya que son los que le proporcionan la información al robot ante la cual actuar. En tercer lugar, poseen manipuladores que vendrían siendo los brazos. Las manos de un robot son los llamados efectores. Sumado a esto los robots poseen sistemas de locomoción, que son lo que les permite moverse por el espacio y pueden variar en forma y funcionamiento dependiendo del fin que persiga. Por último, todos los robots poseen una fuente de energía, ya sea eléctrica, calórica, hidráulica, entre otras, todo robot necesita una fuente de donde obtener la energía para realizar su finalidad.

Teniendo esto en cuenta se realiza una experimentación temprana de algunos de los componentes, como forma de entender, de manera general, cómo podría funcionar una propuesta.

### 5.1.1 ACTUADORES:

En primera instancia se experimentó con actuadores hechos de film de polipropileno (PP). Se eligió este material ya que permite la rápida y fácil creación de distintas formas las cuales se pueden inflar con facilidad, imitando así, el modo de control por aire en “soft robotics”. Para realizar las uniones, se intentó, en principio, unir todo con calor pero se encontraron fugas de aire las cuales fueron selladas con cinta aislante. Además se experimentó intercalando materiales más y menos flexibles como por ejemplo bombillas de plástico. Esto con el fin de probar si es que se generaba algún cambio de comportamiento. El aire fue ingresado soplando y succionando y sólo un experimento utilizó una jeringa para el mismo fin.

Ilustraciones y registros de experimentación de autoría del alumno. →

### #1

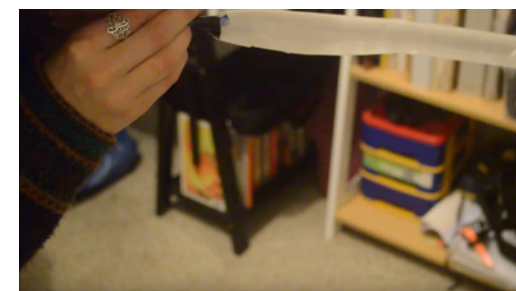
#### EXPERIMENTO

**Contexto:** La experimentación comenzó haciendo tubos de distintos largos de film de PP. Para esto se unían los bordes que a través de calor y tanto el fin del tubo como el inicio (donde se une con la “fuente de energía”) fueron sellados con cinta aislante.



**Hipótesis:** Se espera que el tubo se infle cuando el aire ingrese deformando un poco su forma original.

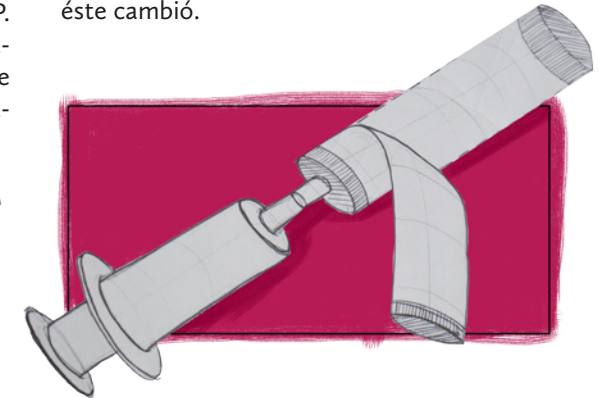
**Resultados:** Cuando el tubo resultaba demasiado largo como para sostenerse erguido, se doblaba hacia abajo, lo que hacía que fuera muy evidente que cuando se inflaba, con aire su interior, éste se levantaba en un solo movimiento hasta estar completamente inflado. La forma del tubo no se deformaba casi nada ya que el material no era lo suficientemente flexible como para lograr ese resultado. Se obtuvo un resultado predecible. Los otros tubos, de tamaños más pequeños simplemente se inflaban y no se levantaban ya que el material podría sostener su cuerpo.



### #2

#### EXPERIMENTO

**Contexto:** Este segundo experimento nace de la modificación del primero. Habiendo dejado uno de los tubos bajo peso, la forma inicial de éste cambió.



**Hipótesis:** Al encontrarse doblado, se espera que cuando se ingrese aire al interior, el tubo se infle y logre la forma “lineal” obtenida en el experimento n°1.

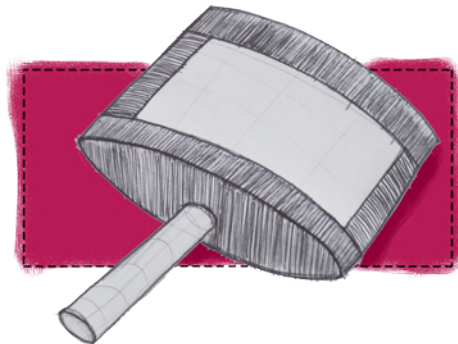
**Resultados:** Cabe mencionar que este experimento se realizó con una jeringa, lo que permitió no sólo empujar aire dentro del modelo si no que succionar. Además el largo del tubo era tal que el material resistía su propio peso. Cuando se le ingresó el aire, éste hizo que tomara la forma inicial, estirándose; confirmando así la hipótesis. Lo que se descubrió luego es que al succionar el aire, retornaba a su forma “aplastada”. Este experimento, sin quererlo, refleja el comportamiento de los materiales con memoria de forma, los que han sido utilizados para experimentar en métodos de control de soft robotics, como por ejemplo GoQBot.



#3

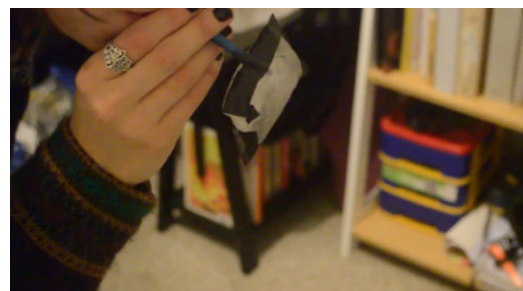
**EXPERIMENTO**

**Contexto:** El próximo experimento realizado se trató de un tubo de film mucho más compacto con forma rectangular.



**Hipótesis:** Se esperaba, simplemente que se inflara.

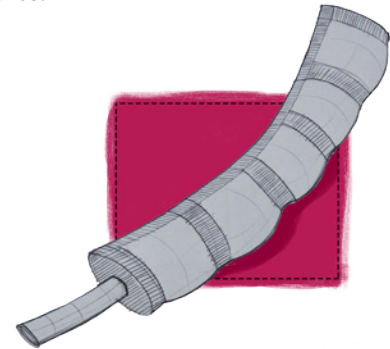
**Resultados:** Éste, debido a su forma y a la consistencia del material, no tenía mucho cambio sino que se inflaba, formando una especie de almohadilla.



#4

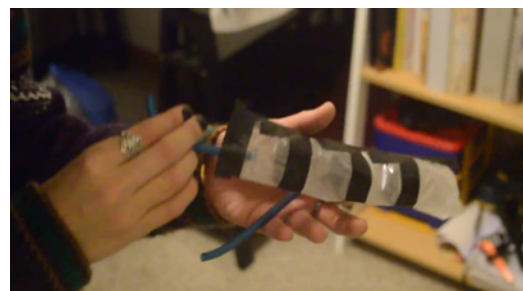
**EXPERIMENTO**

**Contexto:** Este experimento intentó replicar el largo del primer ejemplo pero, en vez de ser una sola pieza estaba hecho de la unión de pequeñas partes. Éstas se sellaron con calor individualmente y se unieron entre ellas con cinta aislante.



**Hipótesis:** Se esperaba que se inflara igual al experimento n°1.

**Resultados:** Surgieron problemas en las uniones ya que los bloques individuales no eran exactamente iguales entre sí por lo que algunas partes del ejemplo quedaron arrugadas. Esto generó que la figura general describiera, como podemos ver en la fotografía, una curva poco pronunciada. Al inflar el aparato, las uniones hicieron que cada una de las partes se viera más exageradamente inflada, replicando el efecto de almohadilla del experimento anterior; esto debido a que existe una diferencia de elasticidad entre el film de PP y la cinta aislante.

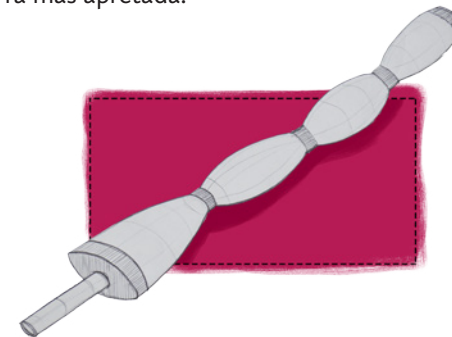


← Ilustraciones y registros de experimentación de autoría del alumno. →

#5

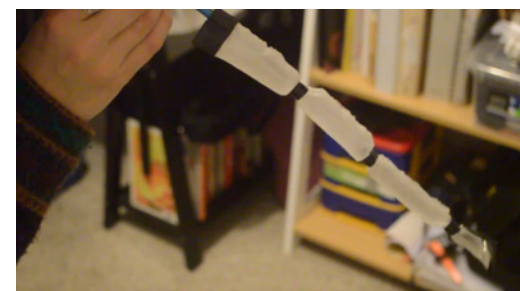
**EXPERIMENTO**

**Contexto:** Basado en el ejemplo anterior, se quiso exacerbar el efecto almohadilla, por lo que se restringe el espacio que tiene el aire para pasar gracias a la cinta aislante puesta de manera más apretada.



**Hipótesis:** Se espera que las partes de film se inflen más.

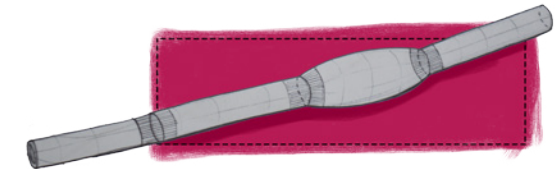
**Resultados:** Se cumple la hipótesis, ya que las secciones de film se inflan más notoriamente debido a que la cinta restringe el espacio, aumentando así la presión del aire interior.



#6

**EXPERIMENTO**

**Contexto:** Este nuevo experimento es una evolución del anterior. En vez de utilizar cinta aislante para generar una rigidez en el cuerpo general, se propone utilizar un material más rígido en este caso bombillas de plástico, para generar un cambio de rigidez y a demás limitar el espacio disponible para el aire. Se ubicó la parte flexible (film de PP) en medio de dos bombillas.



**Hipótesis:** Se espera un resultado parecido al ejemplo anterior, donde las partes flexibles se inflen más notoriamente.

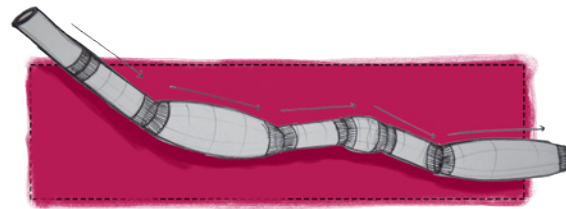
**Resultados:** Al inflarlo, se observa que no se infla de manera lineal, formando una línea "recta" como los anteriores, sino que el experimento se desvía, al parecer, dependiendo del ángulo en que se ubica la bombilla de plástico. Dependiendo de la posición exacta en la que se ubica y sostiene la parte rígida esta pareciera dirigir el aire, cambiando así la dirección del experimento general. Sumado a esto, las partes flexibles no se encuentran tan notoriamente infladas como en el ejemplo anterior y esto puede estar dado debido al largo de las partes rígidas (bombillas) que son más largas que el ejemplo anterior. O podría ser debido al diámetro de la parte flexible; ya que como las bombillas tienen un diámetro determinado, se tuvo que achicar al diámetro de las secciones flexibles para que calzaran con las rígidas. Esto podría estar generando que se inflen menos ya que son más estrechas.



#7

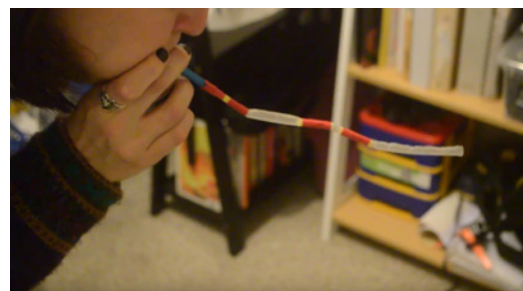
**EXPERIMENTO**

**Contexto:** El siguiente ejemplo, es una variación del anterior, ya que se varió la posición de las partes rígidas y flexibles dentro del cuerpo del experimento, además de la longitud de las distintas partes.



**Hipótesis:** Se espera que ocurra lo mismo que en el anterior, es decir, la redirección del aire.

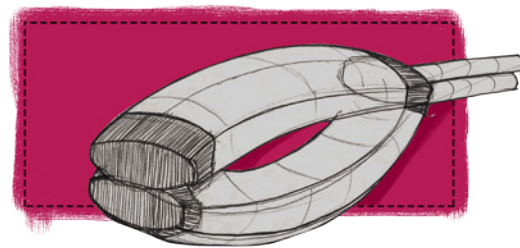
**Resultados:** La conclusión del experimento anterior se repite, exagerando incluso más el efecto de variación de dirección del cuerpo, debido seguramente a la cantidad de partes de este experimento. Mirando este nuevo ejemplo se piensa que el cambio de dirección también puede estar dado por el peso de la parte rígida, en conjunto con la posición exacta en que se ubica.



#8

**EXPERIMENTO**

**Contexto:** Este ejemplo, se quería ver cómo una parte del cuerpo podía influenciar a otra. Es por esto que se ubicaron dos tubos de film de PP independientes pero que fueron unidas por fuera con cinta.



**Hipótesis:** Se espera que se inflen linealmente y que cuando se succiones uno, éste afecte a su compañero.

**Resultados:** Ambas partes se inflaron de forma lineal y se formó una especie de espacio virtual entre ellos. Cuando se le aplica mucha presión de aire, se curvaban ligeramente debido a que el espacio era restringido para la cantidad de aire que se estaba ingresando.



← Ilustraciones y registros de experimentación de autoría del alumno. →

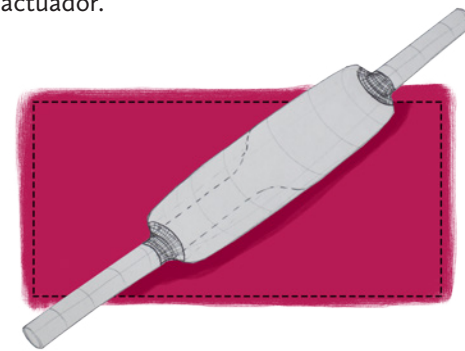
**5.1.2 ACTUADORES:**

Luego de la experimentación con el film de poli-propileno, quedó en claro que el material no era tan flexible como se esperaba. Es por esto que, como forma de experimentar con un material más parecido a la silicona, se escogieron los globos alargados, aquellos utilizados para generar formas en los cumpleaños de niños.

#9

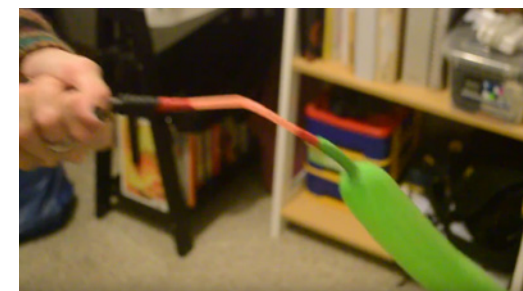
**EXPERIMENTO**

**Contexto:** Este experimento intentó mezclar la rigidez de las bombillas de plástico con la flexibilidad de los globos, fusionándolos en un solo actuador.



**Hipótesis:** Se espera que el globo se infle notablemente y que el actuador se estire de manera "lineal".

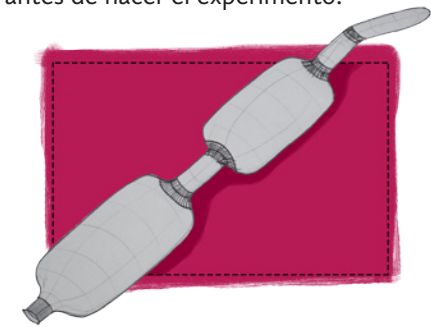
**Resultados:** El experimento funcionó como se esperaba, es decir, el globo se infló por completo; pero la sorpresa radicó en la forma en que se infló: expandiéndose primero la parte posterior para luego inflarse por completo. A diferencia de cómo se inflan estos globos en condiciones normales, donde comienza a inflarse la parte más cercana al bombín y mientras más aire entra, más se va expandiendo el recorrido del aire, hasta inflar por completo el globo. Esto puede estar dado por el material final del actuador en este caso la bombilla que es rígida.



#10

**EXPERIMENTO**

**Contexto:** Este nuevo experimento es una variación del anterior, tanto en la longitud de las partes como la posición en el espacio. Éste a diferencia del anterior, termina con una parte flexible; un extracto de globo que nunca fue inflado antes de hacer el experimento.



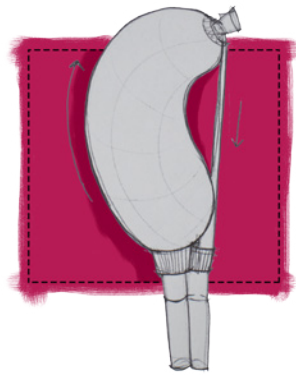
**Hipótesis:** Se espera que se infle igual que el experimento anterior en las partes flexibles y se estire de manera lineal.

**Resultados:** El primer resultado evidente fue que al inflarlo, la parte final nunca se infló, debido a la resistencia del material. Por otro lado, y a diferencia del experimento anterior, se infló primero la parte más cercana al bombín para luego inflarse la sección flexible del medio. Esto podría estar dado porque la parte final del actuador es flexible. Por lo tanto se propone repetir este experimento pero terminando en una sección rígida.



#11  
EXPERIMENTO

**Contexto:** Este es un experimento que se basó en el ejemplo número 8. Como forma de ver cómo una parte influencia a la otra; se unieron por el inicio y el final, dos extractos de globo individuales.



**Hipótesis:** Se espera que, si tengo los dos inflados y succiono uno, éste influya y retraiga al que sí lo está.

**Resultados:** Resultó ser que al inflar uno, y debido a la flexibilidad del material, el que se encuentra desinflado ejerce una presión retroactiva al que se encuentra inflado y termina por generar una torsión en la fracción inflada del experimento. Sin quererlo ni pensarlo, se terminó torsionando el material, generando un resultado que no se pensó que podía ser obtenido de esta manera. En experimentos posteriores se desarrolla esta idea de otras formas.



#12  
EXPERIMENTO

**Contexto:** Este nuevo experimento es una variación del anterior, tanto en la longitud de las partes como la posición en el espacio. Éste a diferencia del anterior, termina con una parte flexible; un extracto de globo que nunca fue inflado antes de hacer el experimento.



**Hipótesis:** Se espera que se infle igual que el experimento anterior en las partes flexibles y se estire de manera lineal.

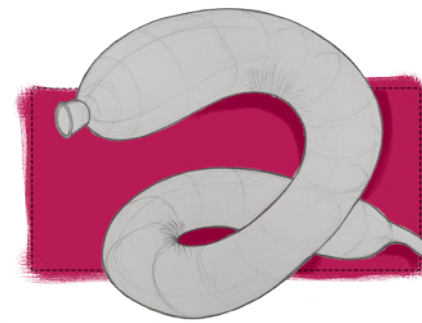
**Resultados:** El primer resultado evidente fue que al inflarlo, la parte final nunca se infló, debido a la resistencia del material. Por otro lado, y a diferencia del experimento anterior, se infló primero la parte más cercana al bombín para luego inflarse la sección flexible del medio. Esto podría estar dado porque la parte final del actuador es flexible. Por lo tanto se propone repetir este experimento pero terminando en una sección rígida.



← Ilustraciones y registros de experimentación de autoría del alumno. →

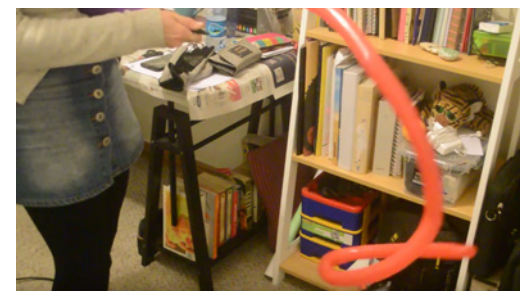
#13  
EXPERIMENTO

**Contexto:** Se quiso generar esta torsión o cambio de dirección en el cuerpo del globo de una manera distinta, sin tener que prescindir de un agente externo. Por lo que se utilizó calor sobre la superficie del globo.

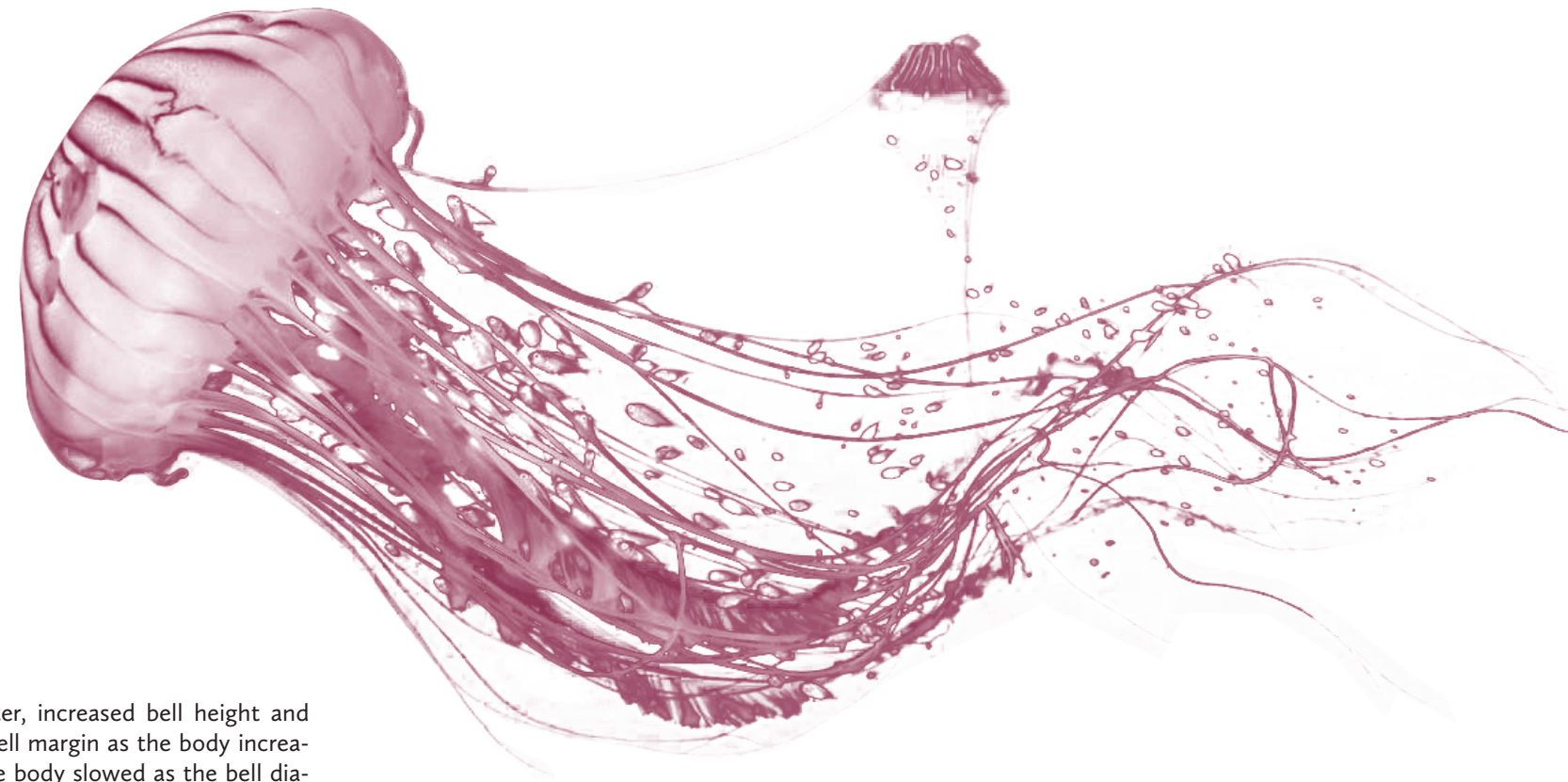


**Hipótesis:** Se espera que el actuador se doble en las partes donde se modificó la superficie.

**Resultados:** En un principio se pensó generar esta torsión gracias a cinta que arrugara cierta parte del globo e hiciera que el aire se desviara. Pero esto no funcionó ya que al ingresar el aire la cinta se despegaba de la superficie anulando así la experimentación. Por lo que para obtener el mismo resultado se calentó la superficie del globo. Al hacer esto la superficie se retraía y cambiaba su forma inicial lo que hacía que al inflarlo, justo en los puntos en donde se ejerció calor, se doblaba la superficie.







**5.2 SISTEMAS DE LOCOMOCIÓN**

Los tipos de actuadores y su materialidad han encauzado la investigación hacia organismos insertos en medios acuosos.. Es por esto que el método de locomoción preliminar ha optado por prescindir de rodados, orugas y otros mecanismos de tracción terrestre, ni tampoco la adaptación de piernas sino la oscilación de una parte de su cuerpo para su posterior movimiento. En este sentido, los movimientos analizados aprovechan el movimiento interconectado de partes unidas por membranas o tentáculos, al igual que pulpos, manta rayas y las medusas.

A continuación se describen los movimientos de algunos de estos organismos como forma de entender referentes mecanismos de locomoción que pueden sentar las bases o funcionar como inspiración para la posterior construcción de una propuesta.

**MEDUSAS**

Las medusas son organismos invertebrados que están formadas, en parte, por una campana de un material casi translúcido que tiene la capacidad de contraerse y expandirse propulsando así al organismo.

En cuanto al movimiento de ésta se puede afirmar que “during the pulse phase of the propulsive cycle, Aurelia medusae rapidly decreased

their bell diameter, increased bell height and adducted their bell margin as the body increased in speed. The body slowed as the bell diameter gradually increased, height decreased and the margin abducted during the recovery phase.” (McHenry & Jed, 2003 p.4129) Estas observaciones se ven representadas en la Figura 1.

**MANTARRAYAS**

Las manta rayas, a diferencia de otro tipo de peces, se traslada gracias al movimiento ondulatorio de su cuerpo, una gran aleta. En este sentido “rays (Batoidea) perform virtually all behaviors using a single broad surface: the distinctive, expanded pectoral fins.” (Blevins & Lauder, 2012, p.3231). Esta aleta se controla gracias a una ondulación que se denomina, por su término en inglés, “rajiform ondulation” la que utiliza una onda propulsora de flexión que se traslada desde el extremo anterior al posterior a lo largo de su aleta pectoral (Webb, 1994).

“Both oscillatory and undulatory rays are popular inspirations for biomimetic designs. Studies of mobuliform locomotion have found surprising maneuverability and efficiency in manta rays and other, typically large, ‘underwater fliers’ (Heine, 1992; Parson et al., 2011); the charismatic manta is the basis of several bio-inspired robots (e.g. Moored et al., 2011) (Blevins & Lauder, 2012, p.3231, p.3231)”.

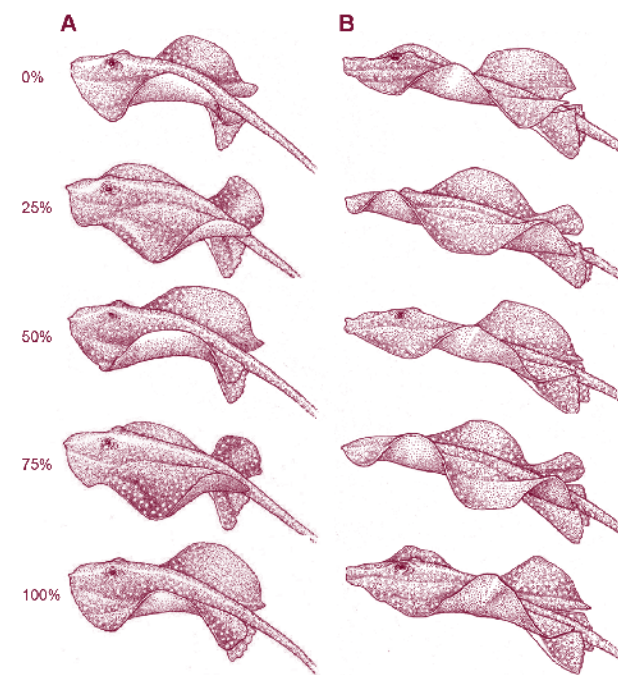


Imagen superior: ↑ Nado de una medusa.

Imagen página 65, imagen borde izquierdo: Esquema explicativo de la ondulación de la aleta pectoral de la mantarraya. → (Webb, 1994)

Figura 1, página 65: Gráfico que desglosa el movimiento de la medusa. → (McHenry & Jed, 2003)

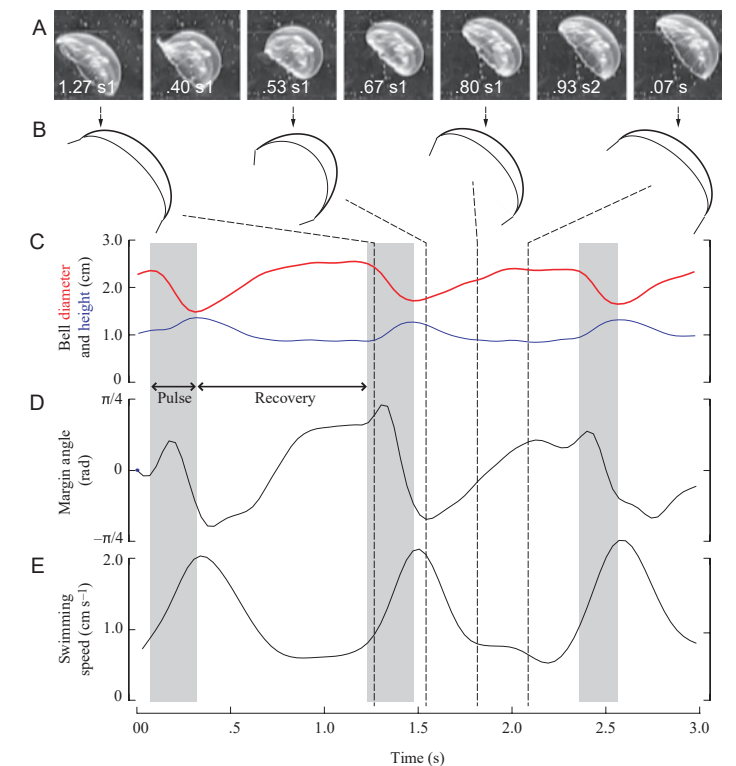


Figura 1.

## CAPÍTULO 6.

67

"Zero one prospered, and for a time, it was good. The machine's artificial intelligence could be seen in every facet of society, including the creation of new and better AI. The leaders of men, their power weaning, refused to cooperate with the fledgling nation, wishing rather that the world be divided."

**"Cero Uno prosperó, y por un tiempo, estuvo bien. La inteligencia artificial de las máquinas podía verse en todas las facetas de la sociedad, incluyendo la creación de una nueva y mejorada IA. Los líderes de los hombres, se rehusaron a cooperar con la naciente nación, deseando, más bien, que el mundo se dividiera."**

Second Renaissance, The Animatrix.

## Organismos compuestos

Avanzar desde la biomímesis hacia la simbiogénesis

A partir de la investigación desarrollada y el análisis del potencial de actuadores, materiales y su correlación formal y funcional con organismos vivos, surge la oportunidad de integrar no sólo como inspiración al mundo biológico sino el estudio de una relación de simbiosis, en donde un mecanismo sintético pueda entregar prestaciones de movilidad o protección y organismos biológicos que brinden otros beneficios a este nuevo organismo.

Para avanzar en esta nueva aproximación al desarrollo de Soft-Robotics se entrevistó al biólogo marino y premio nacional de ciencias, Juan Carlos Castilla. A continuación se rescatan algunas partes de la entrevista y su percepción de la fusión de ambos mundos:

“El aporte sintético al organismo vivo reemplaza, suple o ayuda a algo. Yo tengo un marcapasos, eso me ayuda y se trata de algo sintético. (...) Si se pensara en lo contrario, es decir, una ayuda biológica a algo sintético, yo pienso que en un simbiote se puede pensar; quizás algún elemento que le entregue energía al robot.” (J. Castilla, comunicación personal, 1 de Junio 2017) En este momento de la entrevista se le presenta a Juan Carlos, por primera vez, la pregunta acerca de cómo unir biología y robótica. Luego de hacer una analogía consigo mismo menciona la simbiosis, dejando en claro de que si se trata de una relación entre estas dos disciplinas, deberían tener una co-dependencia simbiótica, sustentando la idea principal del proyecto. Luego agregó “Desde el punto de vista del movimiento, existe en la naturaleza, un grupo que

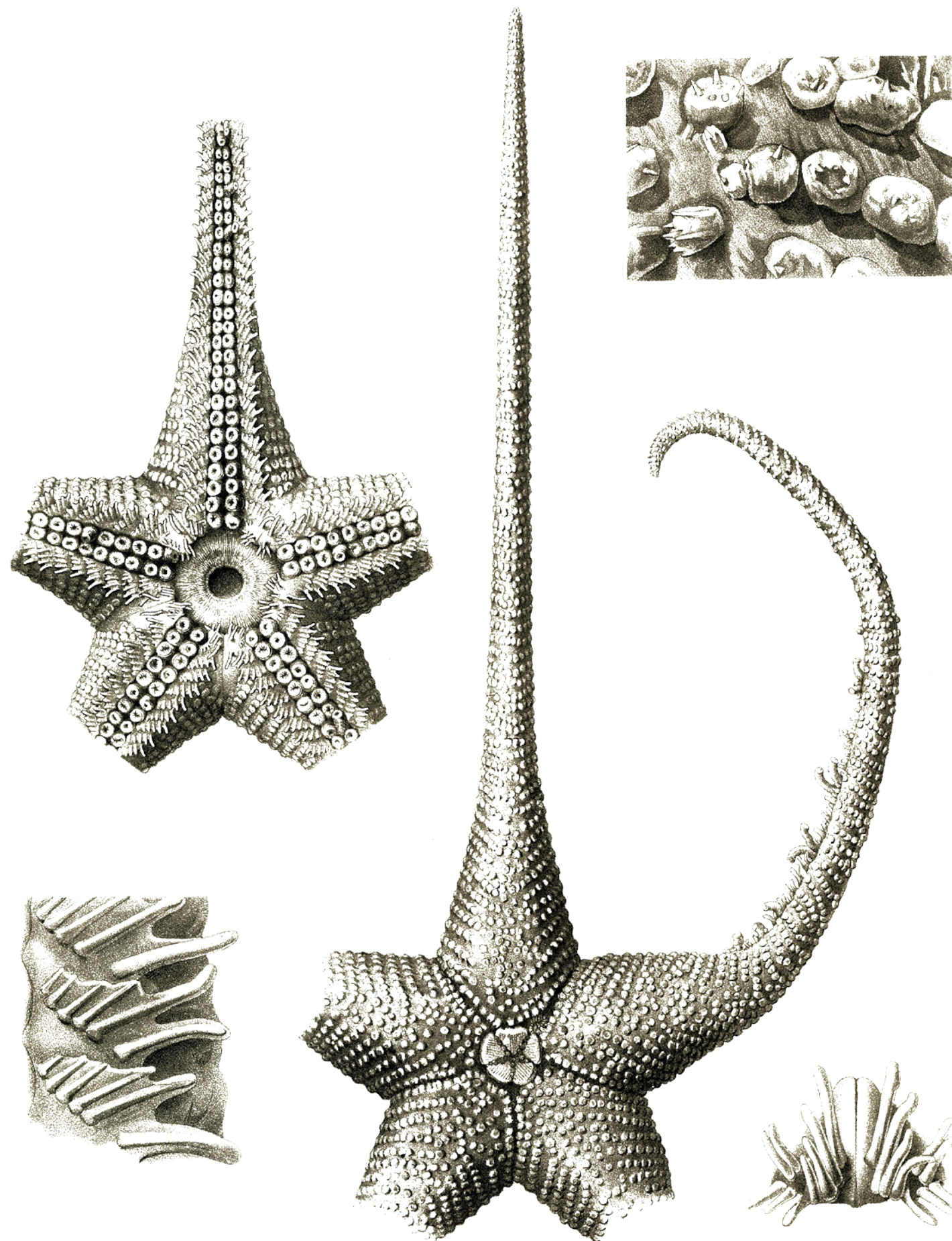
ideó un modo de ser singular: los equinodermos. Poseen un sistema de locomoción hidráulico que es controlado centralmente y distribuido hacia todos los brazos. Funciona a través de pequeñas terminaciones o podios que por succión y absorción hacen caminar al organismo. Se llama sistema ambulacral y es existente única y exclusivamente en los equinodermos. Sería bueno que lo miraras. (J. Castilla, comunicación personal, 1 de Junio 2017)

Por otro lado, cuando se estaba hablando acerca de “Soft Robotics” y sus métodos de control, Juan Carlos recuerda el mecanismo centralizado de control de los equinodermos, declarando que éste podría ser una buena fuente de inspiración para crear un método de control para la propuesta, uniendo así biología y robótica.



**Imagen página 69:** Ilustración de la expedición HMS Challenger Expedition, 1989. →

**Imagen página 68:** fotografía de la entrevista realizada a Juan Carlos Castilla. ↓



## CAPÍTULO 7.

71

"Zero one's ambassadors pleaded to be heard. At the United Nations they presented plans for a stable, civil relationship with the nations of man. Zero one's admission to the United Nations was denied. But it would not be the last time the machines will take the flow of the earth."

**"Los embajadores de "Cero Uno" suplicaron ser escuchados. En las Naciones Unidas, presentaron planes para una relación civil estable con las naciones del hombre. La admisión de "Cero Uno" a las Naciones Unidas fue denegada, pero no será la última vez que las máquinas asuman el control de la tierra."**

Second Renaissance, The Animatrix.

## Organismo simbiote sintético-orgánico

### (soft robotics y organismo)

Formulación propuesta de investigación

#### QUÉ

**Soft-robot sintético-natural acuático, energéticamente sustentable oxigenador por movimiento y purificador por plantas.**

El organismo compuesto por soft robotics (movimiento), biofilm de nanocelulosa (capilaridad y empuje del agua) y organismos vegetales (filtración) nada sobre el medio, oxigenando así el agua, al mismo tiempo que la parte vegetal la purifica al estar conectado a las extremidades biológicas que aprovechan el mecanismo motor para su movimiento.

#### POR QUÉ

Si bien cada uno de los elementos posee cualidades individuales, la integración de cada una de ellos en un sistema cooperativo expande sus alcances y nos acerca a la lógica de los ecosistemas biológicos, ampliando así el alcance de nuestra disciplina.

#### PARA QUÉ

Integrar las lógicas de sistemas simbiogénicos en el diseño de dispositivos/organismos puede permitirnos maximizar los recursos, precipitar nuevas líneas de investigación y posibilitar el desarrollo de procesos medioambientalmente sostenibles.

#### Objetivos específicos

Vincular actuadores artificiales a efectores biológicos.

Reducir la energía necesaria para mantener un ecosistema artificial estable.

Brindar autonomía al simbiote generado.

"And man said "let there be light." And he was blessed by light, heat, magnetism, gravity, and all of the energies of the universe. The Prolonged barrage engulfed zero one in the glow of a thousand suns. But unlike their former masters with their delicate flesh, the machines had little to fear of the bomb's radiation and heat."

**"Y el hombre dijo "que haya luz". Y fue bendecido con la luz, el calor, el magnetismo, la gravedad y todas las energías del universo. El bombardeo prolongado envolvió a "Cero Uno" en el resplandor de mil soles. Pero, a diferencia de sus antiguos maestros con su carne delicada, las máquinas tenían poco que temer de la radiación y el calor de la bomba."**

Second Renaissance, The Animatrix.

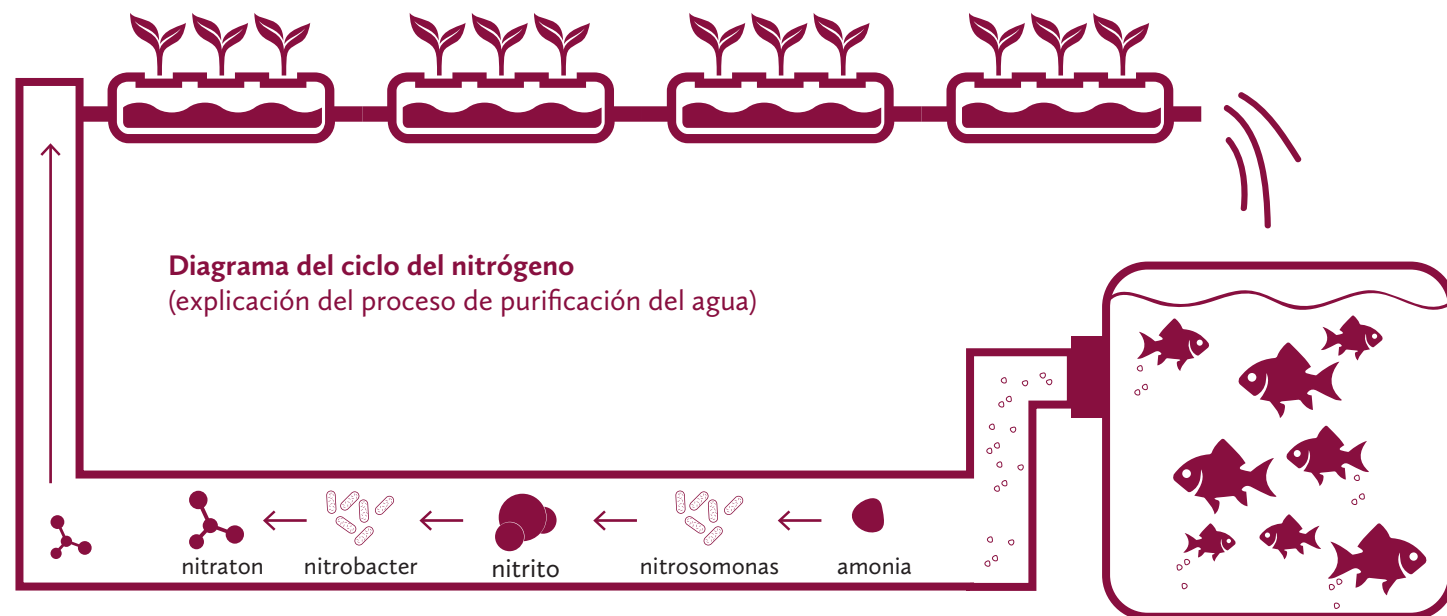
## Aproximación a la propuesta

### 8.1 APROXIMACIÓN AL ÁMBITO DE ACCIÓN

Uno de los ámbitos de aplicación que llamó la atención durante la investigación de posibles escenarios de implementación fue la purificación y oxigenación del agua. En este sentido, destaca el mecanismo de purificación de agua que se utiliza en los cultivos por acuaponía. El secreto recae en la creación de un **ecosistema** en donde unos agentes se benefician de lo que otros eliminan, generando así un flujo de materia continuo y favorable para todas las partes involucradas. En relación a esto, estas plantaciones utilizan peces vivos, los que luego de alimentarse eliminan amonio. Estos restos se mueven a lo largo del sistema hasta que se encuentran con unas bacterias llamadas “nitrosomas” las que transforman el compuesto ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitritos.

Éstos a su vez son procesados por una segunda bacteria llamada “nitrobacter” la que genera nitrato, a partir de ellos. El producto final es parte del alimento de las plantas; es decir, a través de sus raíces estos organismos retiran el nitrato del agua, y por ende la purifican. De este modo, el agua se mantiene apta para seguir siendo un buen hábitat para los peces, completando así el ciclo. Básicamente se estructura sobre la lógica de una cadena trófica donde unos dependen de otros para su alimentación.

Este sistema se basa en la dinámica de la hidroponía es decir, el cultivo de plantas sobre el agua. Bajo este mecanismo, las raíces de las plantas se encuentran en contacto con una so-



← Diagrama página 76: Ciclo del nitrógeno. [confección personal]

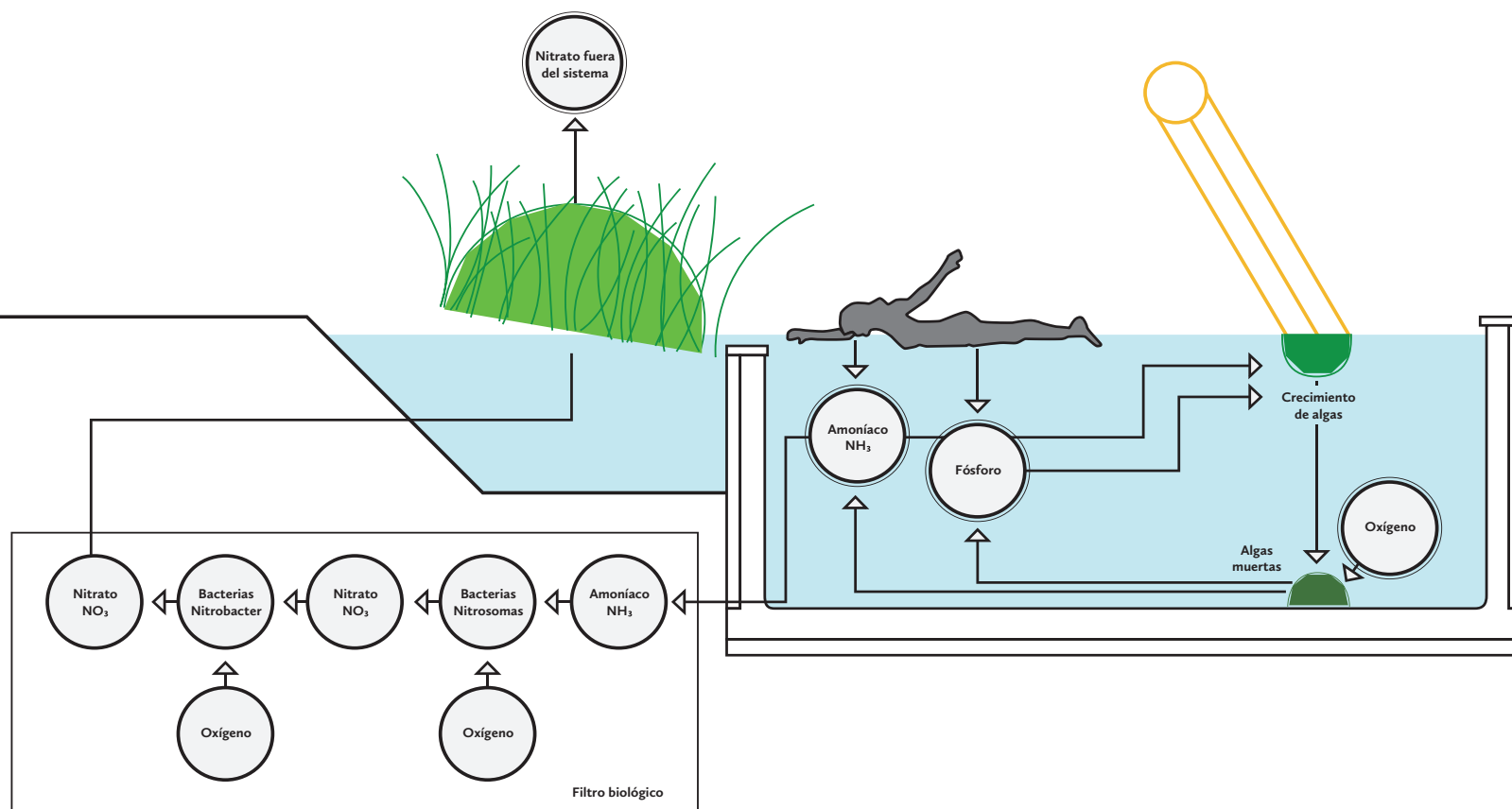
↑ Imágen página 77: Fotografía que muestra un sistema de acuaponía funcionando. (<http://www.ecoeficientes.com.br/o-que-e-aquaponia/aquaponia-caseira/>)



lución mineral, que les permite obtener los elementos que de otra manera perciben las plantas del suelo o la tierra. Cabe mencionar que este procedimiento precisa de algún mecanismo que asegure el constante movimiento del agua para su oxigenación sin la cual el agua podría estancarse y no ser apta para el cultivo.

Teniendo en cuenta estos procesos, la idea de generar un ecosistema en donde cada uno de los componentes obtengan y aporten algo al sistema, llama mucho la atención ya que se piensa que está íntimamente relacionado a la simbiosis, es decir, la codependencia de distintos organismos. En este sentido surge la idea de poder integrar el proyecto en esta cadena, otorgándole más de un rol dentro de ésta. La propuesta final podría contener al componente vegetal y también actuar como una bomba de agua lo que permitirá generar tanto la oxigenación como la filtración del sustrato, mante-

niendo así el ecosistema intacto. En términos energéticos, el proyecto deberá entregar una ventaja por sobre las soluciones que se utilizan actualmente, como lo son, por ejemplo, las bombas de agua, por lo que se pretende que sea potenciado por una energía renovable, convirtiéndolo en un sistema no solamente funcional sino que autónomo y sustentable.



## 8.2 APROXIMACIÓN AL COMPONENTE VEGETAL

Las piscinas biológicas son un sistema de acuaponía que utiliza bacterias nitrificantes para transformar el amoníaco en nitrato, compuesto que puede ser absorbido por las plantas a través de sus raíces. El beneficio que deriva de esta absorción de nitrato, guarda relación al crecimiento excesivo de algas; todos los restos orgánicos que caen al agua terminan convirtiéndose en amoníaco, que es el alimento ideal para las algas. El crecimiento excesivo de éstas, genera una capa que afecta en la transparencia del agua y aporta a la aparición de organismos patógenos. Las plantas que utilizan las piscinas biológicas, absorben estos componentes, que fueron convertidos en nitratos, dejando sin alimento a las algas que no podrán crecer y reproducirse.

En cuanto al componente vegetal filtrador

“debemos tener presente que su función es crecer y retirar materia orgánica de la piscina, por este motivo funcionarán mucho mejor especies con crecimientos rápidos e invasivos, ya que toda esta materia vegetal generada es nitrógeno que estamos eliminando de la piscina.” (“Cómo hacer una piscina natural”, (s.f.), párr. 8)

Comienza entonces una búsqueda de los tipos de plantas que se utilizan para estos fines. Entre ellas destacan algunas conocidas como la *Mentha Pulegium* (menta poleo) y la *Mentha Citrata* (menta acuática) ambas de la familia *Lamiaceae*; los *Nasturtium Officinale* (berros) de la familia *Brassicaceae* y el *Apium Nodiflorum* una *Apiaceae*. Los *Lilium* (lirios) [*Liliaceae*], *Papaver rhoeas* (amapolas) [*Papaveraceae*] y *Eichhornia crassipes* (jacintos de agua) [*Pontederiaceae*] también se utilizan bastante.

Debido a la facilidad de obtención y su capacidad filtradora se opta por utilizar la *Mentha Pulegium* para experimentar con ella y así desarrollar el proyecto.

### 8.2.1 ACUAPONIA O CAPILARIDAD

Los organismos vegetales a utilizar, especialmente los escogidos, crecen de manera óptima bajo ciertas condiciones de temperatura, humedad, entre otras. La generación de un nuevo hábitat que funcione replicando estas características debe ser testeado y ajustado si es el caso. Como forma de prototipar de manera temprana, se realizaron “pruebas de concepto” que pusieron a prueba los distintos sistemas de cultivo posibles. Se eligieron dos *mentha pulegium* para prototipar su capacidad de crecimiento en agua. Estas plantas, pertenecientes a la familia de las labiadas, son perennes y crecen bien en sitios húmedos debido principalmente a sus raíces rizomatosas.

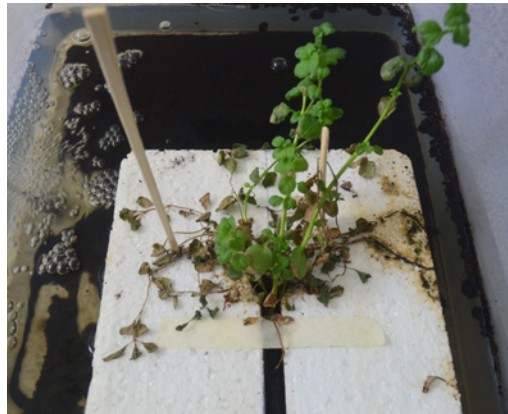
Además se sumaron a los experimentos dos frutillas (frutillas) como forma de validar la utilización de una planta “comestible” en el proyecto. Es importante mencionar, que al igual que la *Mentha Pulegium*, la planta de frutilla necesita de mucha agua, para su óptimo crecimiento y esto justifica también su elección.

A continuación se explican y detallan las distintas pruebas que se realizaron con estas plantas y las conclusiones que de éstos se desprenden.

← **Diagrama página 78:** Diagrama explicativo del proceso de filtración que utilizan las piscinas biológicas

↑ **Fotografía página 79:** Imagen de un sistema de hidroponía. (<https://www.jasminealimentos.com/estilo-de-vida/hidroponia-conheca-esse-tipo-de-horta/>)





### Mentha Pulegium 1:

En primera instancia se quiso someter a una de las Menthas Pulegium a un sistema de hidroponía, para entender el mecanismo y observar su evolución en el tiempo. Para lograr este fin se construye un “macetero flotante” de poliestireno sobre el que se ubica la planta. Cabe mencionar que la menta se ingresa gracias a una especie de ranura que contiene el macetero y permite que las ramas y hojas de la planta queden sobre el agua y sus raíces sumergidas. El conjunto es posicionado dentro de un recipiente plástico de que se llena con agua por sobre la mitad de su capacidad, aproximadamente. Sumado a esto, se agrega al sistema una bomba de agua la que, a través de una manguera, permite la generación de burbujas en el agua, oxigenando así la muestra.

Al momento de ubicar la menta en el agua, ésta se encontraba visiblemente “sana”, con todas sus ramas verdes y erguidas. Al someterse a este sistema de cultivo, se realiza un seguimiento de sus cambios físicos conforme pasaba el tiempo. Durante las primeras semanas, la fisionomía de la planta no cambió, al menos no perceptiblemente; no presentó signos de deterioro ni de marchitez. Cuando ya había transcurrido alrededor de un mes, se nota un cambio en la vitalidad de la planta; algunas de sus ramas se encuentran caídas o a mitad de camino y sus

color ha cambiado. Aquellas que se encuentran caídas, yacen en el poliestireno con un color más oscuro y visiblemente “húmedas”.

Un sistema de hidroponía posee un grado de tecnicismo mayor que considera cantidades específicas y controladas de minerales resueltos, condiciones que no pudieron ser replicadas en estas experimentaciones, por lo que fue claro que las mentas estaban recibiendo agua, pero no los minerales que obtienen normalmente de la tierra. Fue por esto, y como intento de sustituir los minerales diluidos, que se le agregó al agua humus de tierra. Durante un mes, se mantuvo la menta en estas circunstancias y hubo un cambio en el resultado: a pesar de que se observa un deterioro de la planta, éste fue menor en comparación al anterior. Cabe mencionar que los periodos de tiempo (con y sin hummus) fueron los mismos, y en la segunda oportunidad la Mentha Pulegium se malogró con mayor lentitud.

Sumado a este sistema de hidroponía, y teniendo en cuenta que las plantas acuáticas presentan un desafío mayor en cuanto a su obtención y mantención, se desarrolla un sistema de capilaridad, una alternativa al cultivo en agua que sienta las bases para la propuesta a desarrollar y permite la experimentación del crecimiento de plantas sobre tierra. Este mecanismo consta de

### Página 80

↑ Imágen superior izquierda: Menta en hidroponía primer mes. [Fotografía autoría del alumno]

↑ Imágen inferior izquierda: Menta en hidroponía tercer mes [Fotografía autoría del alumno]

↑ Imágen costado derecho: Sistema de capilaridad utilizado [Fotografía autoría del alumno]

### Página 81

↑ Imágen costado izquierdo: Menta en sistema de capilaridad segundo mes. [Fotografía autoría del alumno]

↑ Imágen superior derecha: Menta en su tamaño inicial. [Fotografía autoría del alumno]

↑ Imágen inferior derecha: Menta en sistema de capilaridad primer mes. [Fotografía autoría del alumno]

un recipiente con dos partes: la superior contiene el sustrato y la planta y la inferior, funciona como un reservorio de agua. Se debe generar un puente o túnel entre las dos partes y conectarlos con un material que posea capilaridad, es decir, que sea capaz de elevar agua. Esto permite que la planta, que idealmente requiere de mucha agua, se mantenga húmeda todo el tiempo sin la necesidad de riego externo. En este sentido, la planta vive de manera autónoma y solamente necesita de un relleno periódico de agua. En este caso, ambos recipientes, tanto superior como inferior, se hicieron cortando un contenedor plástico - PET - de 1,5 lt.

### Mentha Pulegium 2:

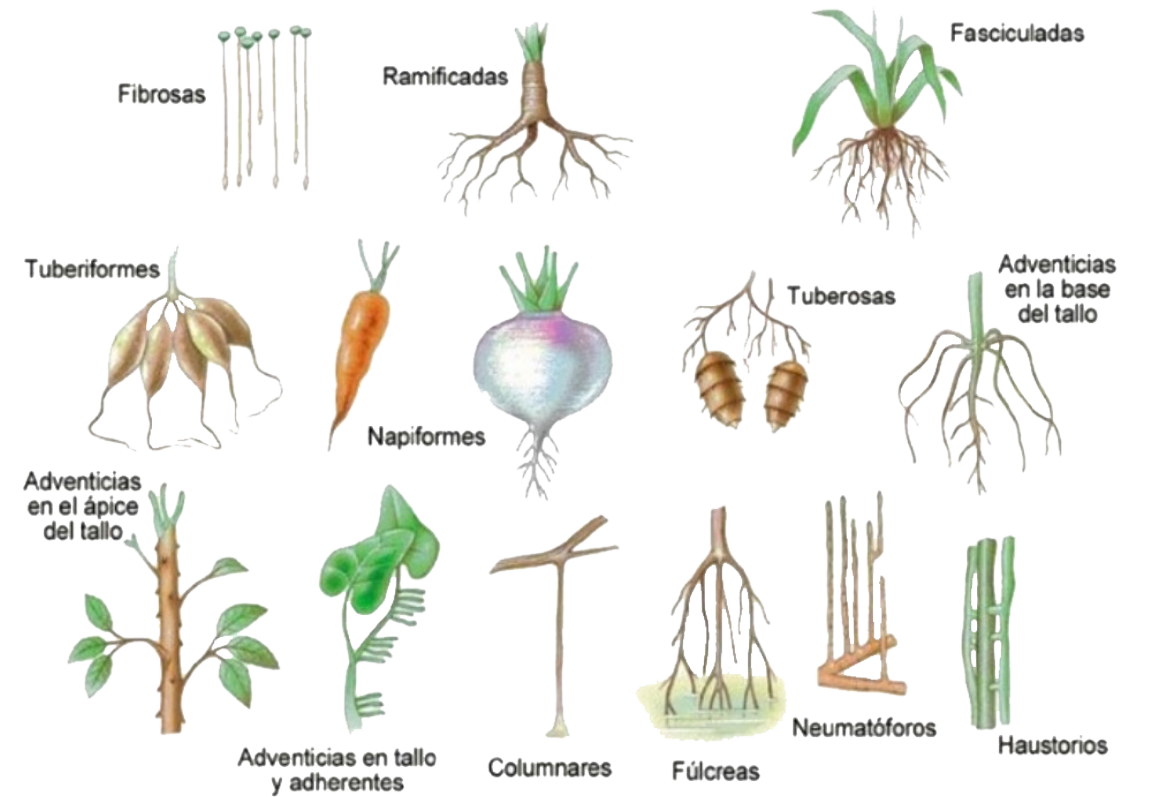
El otro ejemplar de Menthas Pulegium fue sometida a un sistema autorregante por capilaridad, como se puede ver en las fotografías. Con fin de entender la influencia que el sistema tuvo en su crecimiento, se midió la altura de la rama más alta de la planta a lo largo del proceso de cultivo.

La altura inicial de la planta era de 15,5 cm de alto. En cuanto a su apariencia, a pesar de contar con variadas ramificaciones, no era necesariamente robusta. La mayoría de sus ramas se encontraban en posición vertical y los casos en que no, se trataban de ramas largas que no lograban mantenerse completamente recto.

A medida que pasó el tiempo, se pudo observar el considerable crecimiento que tuvo la planta. Con el paso de un mes, sus ramificaciones se multiplicaron y crecieron hasta el punto de que la mayoría de ellas no podía sostenerse por sí mismas. De hecho, se insertaron 4 soportes verticales que permitieron que la planta se apoyara y siguiera creciendo hacia arriba. Sumado a esto, a medida que la menta crecía fue notoria la creciente necesidad de agua por parte de la planta; el recipiente de agua comenzó a rellenarse con mayor constancia.

A un mes de comenzado el proceso la menta medía 35 cm de alto en su ramificación más larga, y era notoriamente más frondosa que en un principio. Este rápido crecimiento justifica la utilización de las mentas para la purificación de agua, ya que como se mencionaba anteriormente, mientras más invasivo y rápido sea el crecimiento, más nitrógeno se absorbe. Pero por otro lado, esta forma de crecer podría dificultar el equilibrio y el peso de cualquier tipo de propuesta que pretenda sostener a la planta a flote sobre el agua.

Como forma de mantener el seguimiento del crecimiento de esta planta, se mantuvo a la menta dentro de este sistema durante un mes más. Ésta replicó los resultados de la etapa anterior: crecieron y se multiplicaron sus ramificaciones notablemente, llegando a medir hasta



50 cm de largo. Sumado a esto, los soportes ya no pudieron resistir el peso de la planta y fue necesario sacarlos. La consistencia era parecida a la de una enredadera, todas las ramificaciones cruzadas sin ningún tipo de orden de crecimiento.

Cabe mencionar que durante los dos meses de experimentación la menta se mantuvo con sus ramas originales y algunas comenzaron a tornarse más amarillas. Es por esto que se decidió podar la menta como forma de darle un entorno más favorable a las nuevas ramificaciones.

**Conclusiones:**

Si bien la experimentación carece de una sistematización que nos entregue información precisa sobre la tasa de absorción y purificación de nutrientes en el agua; podemos observar que el desarrollo de las especies vegetales expuestas a sistemas de auto-riego por elevación de agua usando la capilaridad como fenómeno hídrico, exhiben el mayor índice de crecimiento; y por consiguiente se presentan como una buena alternativa. En base a lo observado, es claro que la Mentha Pulegium podría funcionar como un gran filtrador de agua debido a su modo de crecimiento. Por otro lado, la capilaridad se reafirma como una opción a integrar en la futura propuesta, ya que puede sustentar el crecimiento de una planta de manera satisfactoria. En este

sentido, se hace necesario el diseño de mecanismos que conecten el sustrato de la especie vegetal con fuentes de agua por medio de capilaridad y movimiento ya que teniendo una fuente abundante de agua, el sistema podría mantenerse por sí solo por un tiempo prolongado.

**Fragarias (frutillas):**

Registrar el crecimiento y desarrollo de las fragarias fue muy diferente al caso de la Mentha Pulegium. La Fragaria, especie rastrera y del grupo de las herbáceas presenta un desarrollo distinto a la lamiaceae. En este sentido, los tallos de esta especie son simples, y no presentan un cambio de robustez considerable. No exhiben el mismo patrón de crecimiento en sus hojas que la Mentha Pulegium, sino que denotan su estado según la coloración de sus hojas y la aparición de frutos.

De la mano de esta idea, al momento de adquirir la Fragaria, ésta presentaba algunos brotes de frutillas de coloración blanca o crema. Es por esto que con el paso de un par de semanas ya presentaba frutos listos para consumir. Las Fragarias son especies que requieren grandes cantidades de radiación solar y suministro hídrico, por lo que el clima lluvioso de Santiago durante el invierno no aportó a que germinaran muchos frutos durante este período.

← **Fotografía superior izquierda, página 82:** Frutillas en sistema de capilaridad [Fotografía de autoría del alumno]

← **Fotografía inferior izquierda, página 82:** Frutilla en sistema de capilaridad [Fotografía de autoría del alumno]

↑ **Fotografía superior izquierda, página 82:** Frutilla en sistema de capilaridad [Fotografía de autoría del alumno]

↑ **Diagrama página 83:** Tipos de raíces existentes. (<http://www.cristorey.zaragoza.escolapiosemaus.org/blogs/ojobrojo/2017/02/22/tipos-de-raices/>)

**Conclusiones:**

La observación del crecimiento y desarrollo de las Fragarias, reafirma la conclusión obtenida de las Mentha Pulegium: el sistema por capilaridad es altamente efectivo y requiere de muy poca energía por parte de la contraparte humana para mantener a los organismos vegetales sanos. En el caso de tener una fuente abundante de agua, las plantas podrían ser autosustentables.

Los resultados preliminares de la experimentación con estas variantes vegetales demuestran que las posibilidades se expanden a distintas especies, según el lugar, el nivel de radiación y el tipo de partículas presentes en las fuentes de agua. Es por esto que se definen ciertos requisitos mínimos en cuanto a la especie vegetal a utilizar:

1. Los sistemas radicales, no deben ser muy invasivos o crecer demasiado. La razón de esto guarda relación con el espacio disponible que tendrá la propuesta y el equilibrio que se necesita generar para que el sistema flote sobre el agua.
2. Por otro lado, y como se mencionó anteriormente, el crecimiento “explosivo” de unas plantas puede ser beneficioso en cuanto a la filtración, pero puede obstruir el movimiento de los efectores y las capas de capilaridad. Es por esto que las plantas a utilizar deben ser ideal-

mente de crecimiento rastrero, pudiendo llegar a generar una especie de manto vegetal sobre el agua y alrededor de la propuesta.

3. Los componentes vegetales a utilizar deben requerir de mucha agua para su óptimo crecimiento. Esto debido a que el sistema de capilaridad no distingue la cantidad de agua que eleva, por lo que esta cantidad puede ser demasiada para un organismo que no lo necesite. **No es necesario que se traten de plantas acuáticas, pero pueden serlo.**

### 8.3 DEFINICIÓN DE MATERIALIDAD PARA SISTEMA DE IRRIGACIÓN Y OXIGENACIÓN.

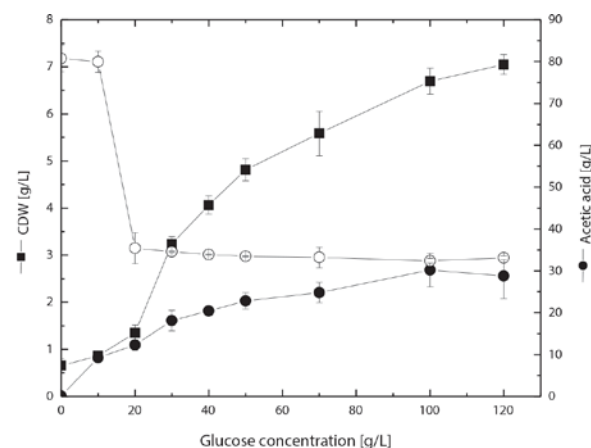
[biofilm de nanocelulosa]

A partir de las consideraciones que emergen del estudio de crecimiento e irrigación se determina el uso de membranas, que poseen la habilidad de elevar agua por porosidad (capilaridad), para la realización de este proyecto.

Este elemento será capaz de actuar como aleta y deberá estar constituido de un material poroso. Es decir, se tratará de un efector con capilaridad. En general en la robótica, los actuadores y/o efectores están formados por agrupaciones de distintos materiales rígidos y conectados a muchos cables. A diferencia de esta situación, y como se ha mencionado anteriormente, la lógica de “soft robotics” intenta utilizar nuevos materiales y encontrar los beneficios que éstos pueden brindarles a la robótica tradicional. El material más utilizado en este contexto actualmente es la silicona, un material flexible que puede imitar o acercarse al comportamiento de ciertos tejidos de organismos vivos.

“The compliance and the elasticity of soft body parts allow reactions with interaction forces without control and support the bioinspired approach that is increasingly being adopted in robotics, as well as in many other disciplines. The study of living organisms can shed light on principles that can be fruitfully adopted to develop additional robot abilities or to facilitate more efficient accomplishment of tasks, because living organisms exploit soft tissues and compliant structures to move effectively in complex natural environments.” (Laschi, Mazzolai, Cianchetti, 2016, pág. 1)

De la mano de esta idea, y como forma de fusionar la robótica con la biología, surge la integración de estructuras sintéticas con elementos biológicos para crear una propuesta basada en la simbiosis. Es decir, generar un proyecto que fusione una parte sintética con una biológica y que ambas interactúan en una relación simbiogénica, en donde exista codependencia de las



partes y se genere un nuevo y singular “todo” que las incluye a ambas.

El desafío más grande consistió en encontrar un elemento orgánico que pudiera entregarle un beneficio a un elemento sintético y que, al mismo tiempo, se beneficiara de esta codependencia. En este sentido, se elige trabajar sobre la información levantada por Camila Correa en su tesis de pregrado de Diseño en el año 2013. Ella experimentó con un material biológico como forma de abrir las posibilidades a sus usos y alcances: la nanocelulosa producida por la bacteria acetobacter, también conocida como SCOBY (Symbiotic Colony Of Bacteria and Yeast). Esta particular bacteria se alimenta de azúcares y excreta nanocelulosa. Después de un tiempo de estadía en un medio azucarado la secreción de la bacteria es muy notoria y genera un biofilm de nanocelulosa. A diferencia de la celulosa extraída de los árboles, ésta tiene una fibra más larga y delgada y es producida de manera tridimensional otorgándole una mayor fortaleza y consistencia al resultado. Siempre que se encuentre en un medio acuoso este biofilm tendrá una consistencia viscosa y mientras más tiempo se mantenga en condiciones óptimas, más será el grosor del film.

↑ Imagen página 84, gráfico que muestra el crecimiento de células y la producción de ácido acético a mayor concentración de azúcar. (Awad et al., 2011)

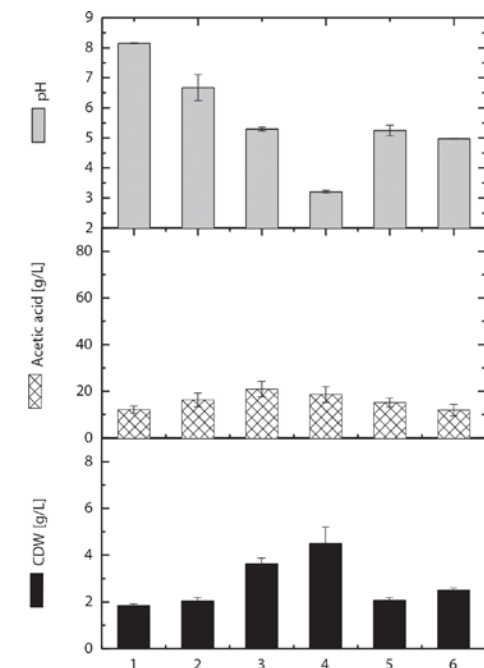
→ Imagen página 85: gráfico comparativo de producción de ácido acético en 6 “ambientes” distintos. (Awad et al., 2011)

#### 8.3.1 CORROBORACIÓN EMPÍRICA DE LAS CUALIDADES DEL BIOFILM

A diferencia del diseño de productos industriales con materiales sintéticos, en que se tiene certeza de las características, capacidades ante distintas solicitudes y métodos de producción, al trabajar con compuestos orgánicos que son cultivados, no fabricados, se presenta la dificultad de contrastar la información existente en la literatura, versus su implementación bajo distintos escenarios.

La nanocelulosa emerge como un material apto para su utilización en el proyecto no únicamente por su carácter “biológico” sino que debido a lo que se conoce de él y las proyecciones en cuanto a sus posibles usos.

En base al gráfico que aparece en el paper “Efficient Production Process for Food Grade Acetic Acid by Acetobacter aceti in Shake Flask and in Bioreactor Cultures”, se conoce la diferencia de producción de ácido acético por la bacteria acetobacter aceti en 6 medios distintos con diferentes componentes. Basado en los resultados, se sabe que los medios con concentraciones de glucosa mayores producen más ácido acético por parte de la bacteria Acetobacter Aceti, y por lo tanto más nanocelulosa. Esto se debe a que existe una mayor cantidad de fuente de carbono en forma de glucosa. De esto se puede concluir que la propuesta debe ocurrir en un medio con alta concentración de glucosa si se



necesita de una producción mayor de nanocelulosa.

De la misma manera, el gráfico de la izquierda nos lleva a la misma conclusión: tanto el crecimiento de las células como la producción de ácido acético se incrementa al incrementar la concentración de glucosa en el medio. (Awad et al.)

Sumado a esta información, se rescatan los experimentos de resistencia y adaptación de forma realizados por Camila Correa en su proyecto de título “Búsqueda de nuevos materiales; Biofilm de nanocelulosa”. De estos ensayos sabemos que, en primer lugar, la nanocelulosa posee un alto grado de flexibilidad cuando se encuentra húmeda, capacidad que pierde al secarse. De hecho, Correa experimentó dificultades intentando despegar la nanocelulosa seca de su recipiente contenedor; tuvo que humedecer el

film para posibilitar su extracción ya que al mojarse recupera su flexibilidad. Esta característica sustenta la idea de un proyecto que se desarrolle en un medio acuoso, que asegura el carácter flexible y maleable de la nanocelulosa.

En segundo lugar, Correa deja claro en su proceso de experimentación que la nanocelulosa se adapta a la forma del recipiente que lo contiene. Esto quiere decir que tendremos resultados diferentes si hacemos crecer nanocelulosa en un recipiente ortogonal que en un recipiente circular.

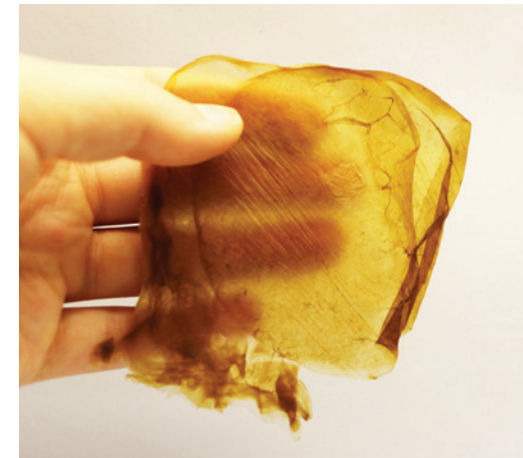
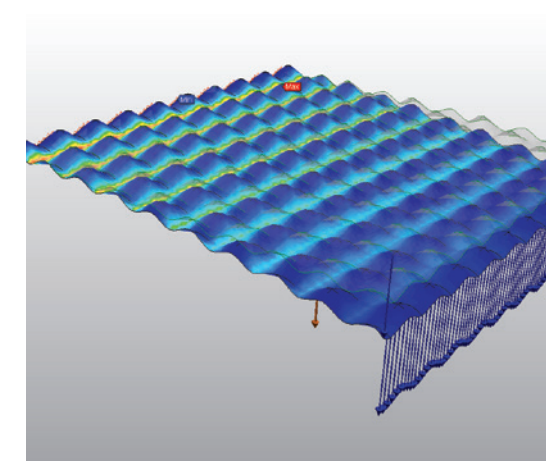
Las posibilidades que brinda esta dualidad entre la producción de la materia prima: nanocelulosa, junto con la transformación posterior al objeto terminado: aleta de biofilm, nos plantea posibilidades que simplifican los procesos por medio del diseño de medios de cultivo con las formas y densidades que tendrás las “piezas” finales.

Adicionalmente, la nanocelulosa destaca por su capacidad hidrofílica, es decir, que tiene una alta disposición a interactuar con el agua. Es por esto que la generación del material ocurre en un medio líquido y tiene una consistencia viscosa y resbalosa al tacto. De la mano de esta idea, es fácil entender por qué este material se utiliza para hacer injertos de piel. En relación a esto, Danuta Ciechańska, ingeniera química de la Universidad de Lodz, explica que para que una herida se recupere debe estar en un ambiente

húmedo (2000) y debido a la consistencia altamente húmeda de la nanocelulosa, se presenta como el perfecto candidato; “It displays high water content (98-99%), good sorption of liquids”, (Ciechańska, 2000, p.69) La absorción de líquido, es importante en el contexto de este proyecto, porque el biofilm actuará en el proyecto alimentando a organismos vegetales del componente acuoso gracias a su capacidad de capilaridad, siendo capaz de elevar líquido a través de su membrana.

Sumado a esto, la nanocelulosa es un material no alérgico y fácil de esterilizar (Ciechańska, 2000) además de poseer capacidades antibacterianas y poder absorber los rayos UV (Correa, 2013). Un proyecto realizado con este material tendría estas ventajas. manteniéndose protegido de bacterias externas y pudiendo mantenerse en buenas condiciones, sin el efecto desgastante que los rayos UV podrían generar.

En cuanto a la nanocelulosa, es claro que no conocemos su completo potencial de aplicación y sólo la utilización de éste en distintos proyectos revelará, con el tiempo su verdadero potencial; pero este proyecto intenta aprovechar las ventajas conocidas del material e idealmente dar luces hacia otros posibles usos y alcances.

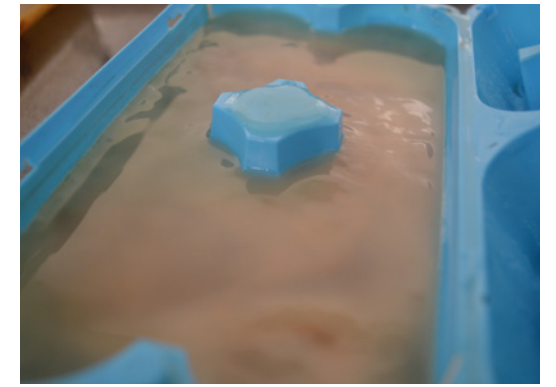


**Imagen página 87, superior izquierda:** biofilm ubicado en superficie de secado. (Correa, 2013)

**Imagen página 87, superior derecha:** interfaz de programa simulador de resistencia sobre superficie de secado. (Correa, 2013)

**Imagen página 87, sector medio izquierda:** biofilm seco. (Correa, 2013)

**Imagen página 87, sector medio derecha:** biofilm extraído recientemente del agua. (Correa, 2013)



### 8.3.2 REGISTRO PROCESO DE CULTIVO BIOFILM NANOCELULOSA

Durante el transcurso de este año, se ha “cultivado” nanocelulosa de manera casera como forma de obtenerla y experimentar con ella. Para el crecimiento del biofilm se necesitan recipientes, idealmente de vidrio, que no expulsen ningún tipo de sustancia dañina para las bacterias.

La nanocelulosa crece en un ambiente específico por lo que se debe preparar una mezcla de té negro normal con azúcar en la proporción 1Lt es a 2 cucharadas soperas de azúcar, la que se mezcla con un biofilm ya desarrollado. El recipiente se tapa con un paño para que se mantenga un ambiente oscuro pero que permita, al mismo tiempo, que la mezcla pueda “respirar”. Para el óptimo crecimiento del biofilm se debe mantener el hábitat a una temperatura ambiente de entre 20° y 30°C; una temperatura menor solamente detendría el proceso para reanudarse con la temperatura adecuada. Pero con una temperatura sobre los 37°C las bacterias mueren por completo, deteniendo para siempre el proceso.

#### Día 1 - 14:

Se comenzó el proceso con un trozo de nanocelulosa, más o menos circular, no más grande que 70mm de diámetro y 1mm de espesor, que se obtuvo de un tercero. Se ubicó, en primera instancia, en una mezcla de té en un recipiente de vidrio cilíndrico. Durante una semana se man-

tuvo con calor externo para poder mantener la temperatura adecuada y se cambió el recipiente a uno rectangular de PETG (tereftalato de polietileno) transparente. La semana siguiente se modificó el sistema de calefacción a uno tipo “baño María” el que consideró un recipiente rectangular grande con uno mediano dentro de él. El interior contuvo al biofilm y el exterior se llenó de agua y se mantuvo a una temperatura de 25°C gracias a un calefactor de agua, sustentando así la temperatura óptima.

#### Día 30:

Luego de, aproximadamente, un mes de la obtención de la nanocelulosa, se revisa la muestra de nanocelulosa para luego hacer un relleno de té. Se observa que sobre el SCOBY inicial se genera una nueva capa transparente que es difícil de visualizar debido a su grosor y transparencia. Básicamente se trata de una muy delgada capa de material que es perceptible al tacto pero que puede romperse con facilidad. El olor a vinagre también es característico del experimento, debido al proceso de fermentación del té. Ambos films (tanto el nuevo como el original) se ubican en recipientes distintos para que cada uno potencie el crecimiento de más ejemplares. Desde ese momento en adelante, la reproducción de nanocelulosa se dispara.

#### Día 60:

El biofilm se engrosa (0,5 mm aprox.) y a primera vista parece una tela sumergida en agua. A

↑ Imágen página 90, superior izquierda: Biofilm después de un mes de cultivo. [Fotografía autoría del alumno]

↑ Imágen página 90, inferior izquierda: Biofilm luego de 2 meses de cultivo. [Fotografía de autotría del alumno]

↑ Imágen página 90, costado derecho: Biofilm luego de 3 meses de cultivo. [Fotografía de autoría del alumno]

↑ Imágen página 91, costado izquierdo: Biofilm moldeado. [Fotografía de autoría del alumno]

↑ Imágen página 91, superior derecha: Biofilm dentro del molde. [Fotografía autoría del alumno]

↑ Imágen página 91, inferior derecha: Detalle biofilm dentro de un recipiente cilíndrico. [Fotografía de autoría del alumno]

pesar de su progreso, aún era bastante delicada y debido a su manipulación, su integridad es bastante delicada. Cabe mencionar que una de las muestras estuvo, durante su proceso de crecimiento, con un hilo sumergido en la mezcla. El resultado fue que la nanocelulosa creció alrededor de éste y cuando se extrae el film del recipiente, posee un orificio claramente distinguible. Esto comprueba que la capa de nanocelulosa puede adaptarse al recipiente que la contiene, hipótesis que Camila Correa comprueba en su tesis.

#### Día 60-90:

Luego de dos meses aproximadamente del comienzo del “cultivo” de nanocelulosa, se decide mantener a las experimentos descansando en su propio líquido por aproximadamente un mes. Cuando se destaparon y revisaron, el líquido estaba casi completamente consumido y la capa de nanocelulosa ya alcanzaba un grosor de aproximadamente 2 a 3 mm, dependiendo del caso. El color del biofilm había cambiado significativamente, ya no era transparente por lo que no se podría ver a través de él y tenía un color lechoso, como si de un flan se tratara. Cuando se extrajo del recipiente, fue clara la diferencia de consistencia con sus predecesores. Su fragilidad había dimitido pero su viscosidad había aumentado y era muy resbaloso al tacto. El film se adaptaba perfectamente la forma del contenedor que utilizaba, por lo que se obtuvieron resultados tanto con forma rectangular

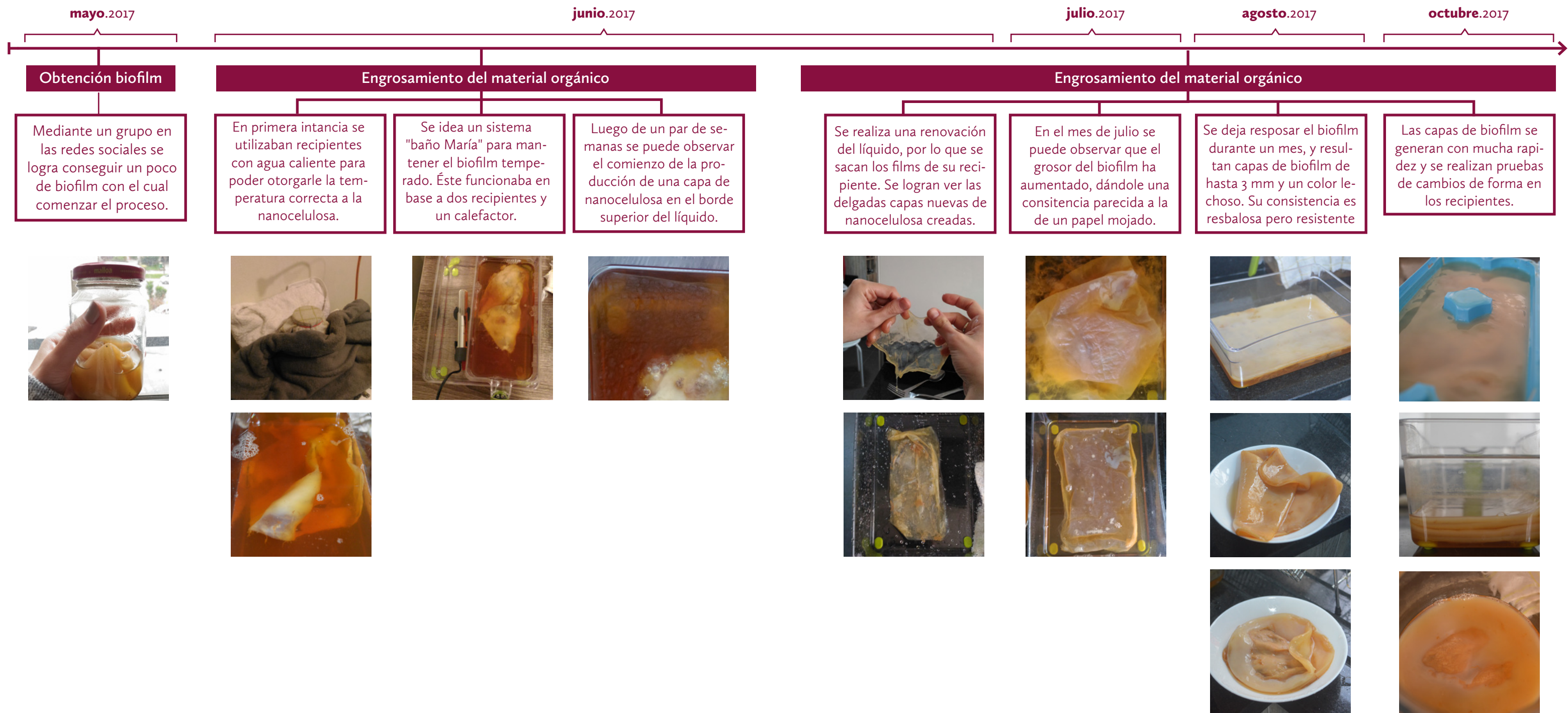
como circular.

Con respecto a la nanocelulosa que se encontraban en recipientes cilíndricos, los resultados no fueron tan uniformes como los demás; el grosor era consistente, incluso superaba a los del resto de los recipientes, pero siempre ocurría que el centro del film era más delgado ya que, al parecer, no tocaba por completo el líquido, lo que llevaba a que las piezas circulares tuvieran deficiencias de material en la parte central. Esto generaba que las distintas capas no se logran adherir por completo, terminando con un resultado deforme y más delicado.

#### Quinto mes:

Ya teniendo numerosas muestras de biofilm, se decide corroborar la teoría de que la nanocelulosa se adapta a su entorno, por lo que se utilizó una caja con una forma determinada por una columna central. Esta condición permitió asumir que la nanocelulosa, tendría una perforación en su centro. Se dejó crecer aproximadamente un mes y los resultados son preciosos. El orificio del molde quedó replicado a la perfección en el biofilm, al igual que los bordes redondeados del recipiente. Esto lleva a afirmar que la nanocelulosa podría ser moldeada para tener distintas formas, según lo requerido en el modelo final, lo que es muy útil para fines de este proyecto. Sumado a esto, se descubre que **la nueva capa de nanocelulosa, siempre y sin excepción se forma en la superficie del líquido y nunca sumergida en su interior.**

# Curva de crecimiento del biofilm



### 8.3.3 ENSAYOS DE SOLICITUD MECÁNICA EN BIOFILM DE NANOCELULOSA

Durante el cultivo de biofilm, se observa que éste se produce por el crecimiento de delgadas capas que se generan en el borde superior del agua. La estadía prolongada y sin movimiento de estas capas en la solución acuosa, produce que se enlacen entre sí generando un resultado cada vez más grueso. En una etapa de unión temprana es visible la división de las distintas capas, y de hecho es posible despegarlas con cuidado, distinción que desaparece después de un tiempo. Al momento de sacar una o más capas de biofilm del recipiente, e ingresarlas nuevamente al sustrato, su crecimiento será independiente. Este método de crecimiento pudo generar resultados de hasta 4 mm de espesor lo bastante rígidos como para manipularlos sin despedazar el material. Yamanka et al. describe la consistencia de las capas de nanocelulosa diciendo que "it is found to be very tough, especially if an attempt is made to tear it across its plane of growth". (1989, p.3141) En base a estas aseveraciones y al método de crecimiento por capas de la nanocelulosa se decide realizar una prueba de esfuerzo que logre mostrar aproximadamente la capacidad que puede resistir el material para así tener en consideración estos resultados al momento de poner en uso el material.



Esta experimentación se realizó en dos etapas; en la primera se utilizó una balanza electrónica portátil como forma de cuantificar el peso que se ejercería sobre el biofilm. Dada la forma de la balanza fue necesario generar un eje que estu-



viera conectado a la nanocelulosa y que pudiera engancharse a la máquina. Se utilizó un palillo delgado de madera el que tuvo que atravesar la muestra de film para poder realizar el experimento. Cabe mencionar que el proceso de inserción del eje fue complejo dado el grosor de la nanocelulosa y la composición entrelazada de sus fibras.

Cuando el eje estuvo ubicado en el centro del biofilm se enganchó la balanza y sobre ella, se probaron distintos objetos con pesos incrementales, comenzando con 280 gramos, para luego avanzar a otros objetos de 720 gramos. En el primer caso, el biofilm resistió a la perfección sin mostrar ninguna señal de abertura alguna, en el segundo caso mostró rasgaduras por lo que hubo que interrumpir el proceso. Es importante mencionar que dada la forma del eje, todo el peso de los objetos se repartió en un sólo punto lo que produce que la solicitud sobre el material sea mayor, distinto a la distribución que deberá tener en el simbiote.



← Imágen página 92, columna izquierda: Proceso de inserción del eje en el biofilm de nanocelulosa. [Fotografía autoría del alumno]

↑ Imágen página 92, superior columna derecha: Biofilm sosteniendo un tostador. [Fotografía de autoría del alumno]

← Imágen página 92, inferior columna derecha: Biofilm sosteniendo una olla de cocina. [Fotografía de autoría del alumno]

Adicionalmente se realiza una prueba de esfuerzo distinta, sin la utilización de un eje sino que ejerciendo presión directamente en la superficie del biofilm. En este sentido se estiró la franja de nanocelulosa y sobre ella se comenzaron a ubicar incrementalmente, distintos objetos con pesos conocidos. Se alcanzó un peso de un poco más de 1 kg y no se pudieron ubicar más objetos dada la forma del biofilm, pero la resistencia de la nanocelulosa hubiera resistido más peso sin problemas. Cabe mencionar que el material no mostró ninguna rasgadura ni estiramiento indeseado y mantuvo su integridad durante el experimento.



Imágen página 93, columna izquierda: Biofilm sosteniendo más de 1kg en comida. [Fotografía de autoría del alumno] →

↑ Imágen página 93, superior columna derecha: Elementos utilizados para la realización de la prueba de concepto. [Fotografía de autoría del alumno] ↑

Imágen página 93, → inferior columna derecha: Prueba de concepto en funcionamiento. [Fotografía de autoría del alumno]



Se empleó un recipiente de acrílico de aproximadamente 38cm x 28cm x 22cm que se llenó con agua. Dentro de él, sobre el agua, se posicionó un contenedor cilíndrico de acrílico transparente dentro del cual se ubicó una planta de menta; éste se perforó en su parte inferior para poder ingresar por allí una aleta hecha de nanocelulosa que conectaría el sustrato con el líquido. Ambos recipientes se unieron a través de un eje horizontal, del mismo material que permite la oscilación del cilindro interior, provocando el movimiento del fluido.

Cabe mencionar que el biofilm se ingresó al cilindro y se le ubicó un tope por dentro, para evitar su posible deslizamiento hacia el exterior, pero no fue necesario ya que la irregularidad natural de grosor a lo largo de su textura, permitieron atascar la aleta de manera fácil y segura.



### 8.3.4 PRUEBA DE CONCEPTO

Luego de tener cierta claridad en cuanto a la materialidad y a algunas de las restricciones a las que se debe acotar el proyecto, se decidió realizar una prueba de concepto que refleje el sistema de capilaridad que se sugiere, la exploración del movimiento del agua y la utilización de un organismo vegetal. Esto a través de la realización de una suerte de prototipo contenedor de estas características que dará una primera idea aproximada al proyecto.

## CAPÍTULO 9.

95

"Thus did Zero one's troops advance upwards in every direction, and one after another, mankind surrendered its territories. So the leaders of men conceived of their most desperate strategy yet, a final solution; the destruction of the sky."

**"Así las tropas de "Cero Uno" avanzaron en todas las direcciones, y una tras otra, la humanidad rindió sus territorios. Entonces los líderes de los hombres concibieron su estrategia más desesperada hasta el momento; una solución final: la destrucción del cielo. "**

Second Renaissance, The Animatrix.

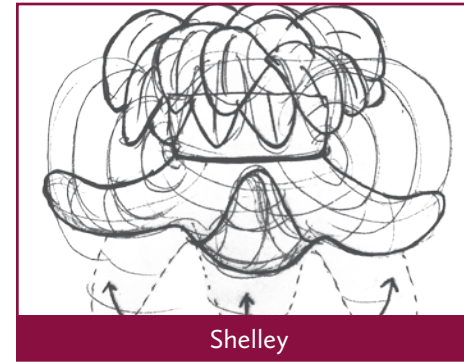




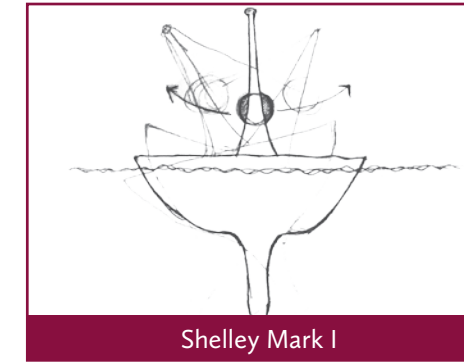
**Evolución asistida de especies simbiogenéticas**

Introducing Shelley

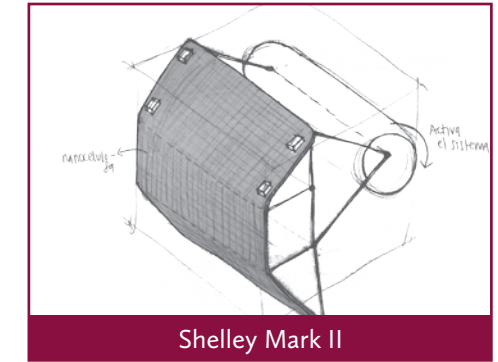
Shelley Mark XV



Shelley



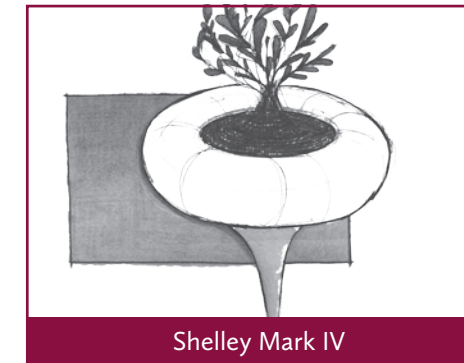
Shelley Mark I



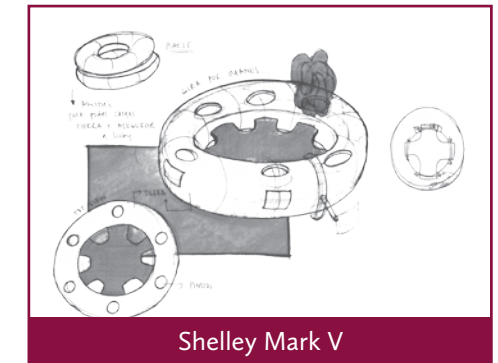
Shelley Mark II



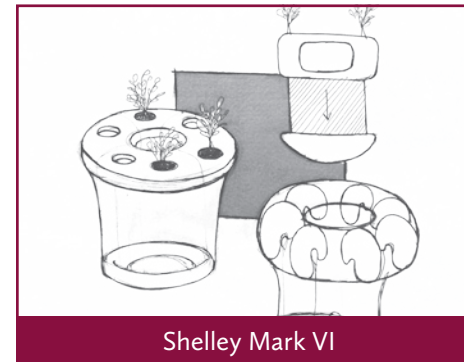
Shelley Mark III



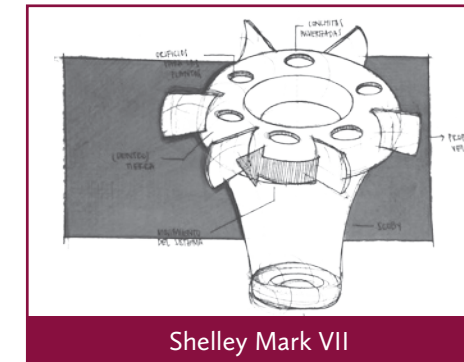
Shelley Mark IV



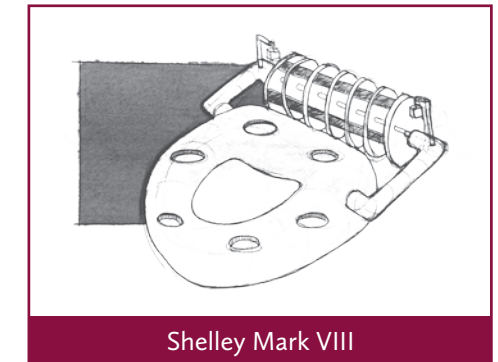
Shelley Mark V



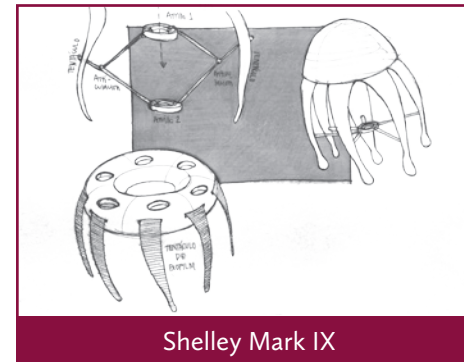
Shelley Mark VI



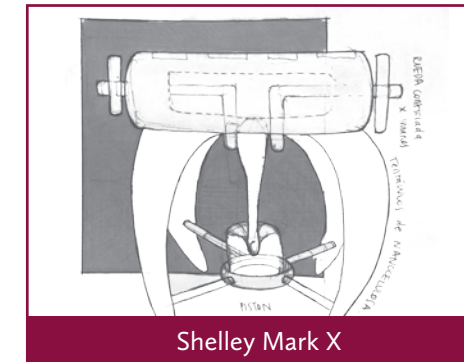
Shelley Mark VII



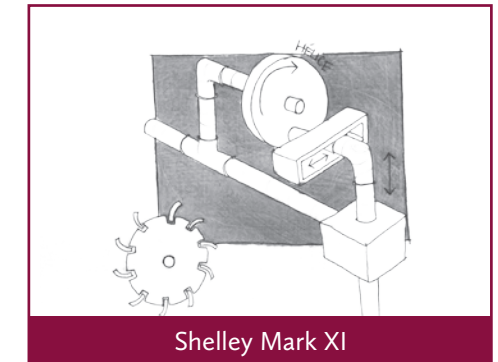
Shelley Mark VIII



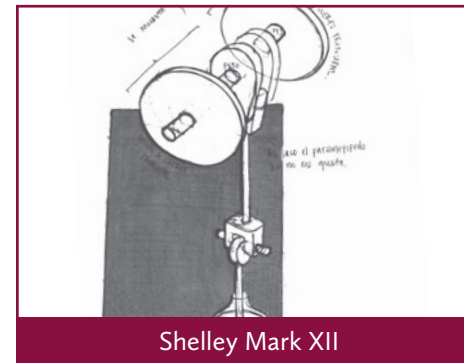
Shelley Mark IX



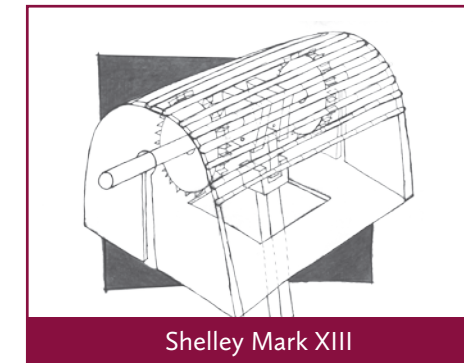
Shelley Mark X



Shelley Mark XI



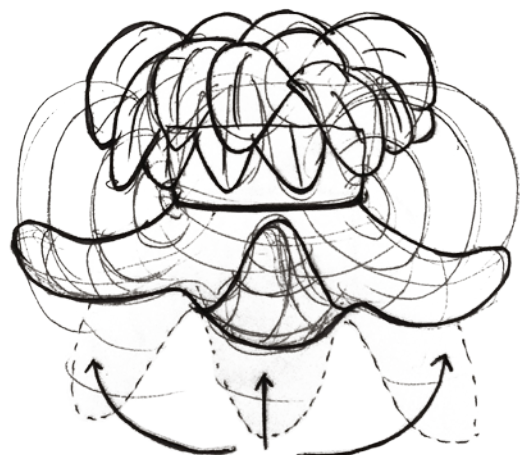
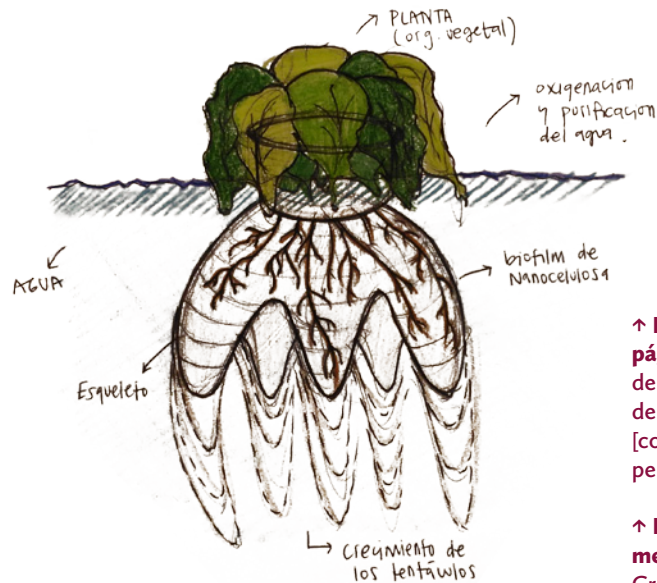
Shelley Mark XII



Shelley Mark XIII



Shelley Mark XIV

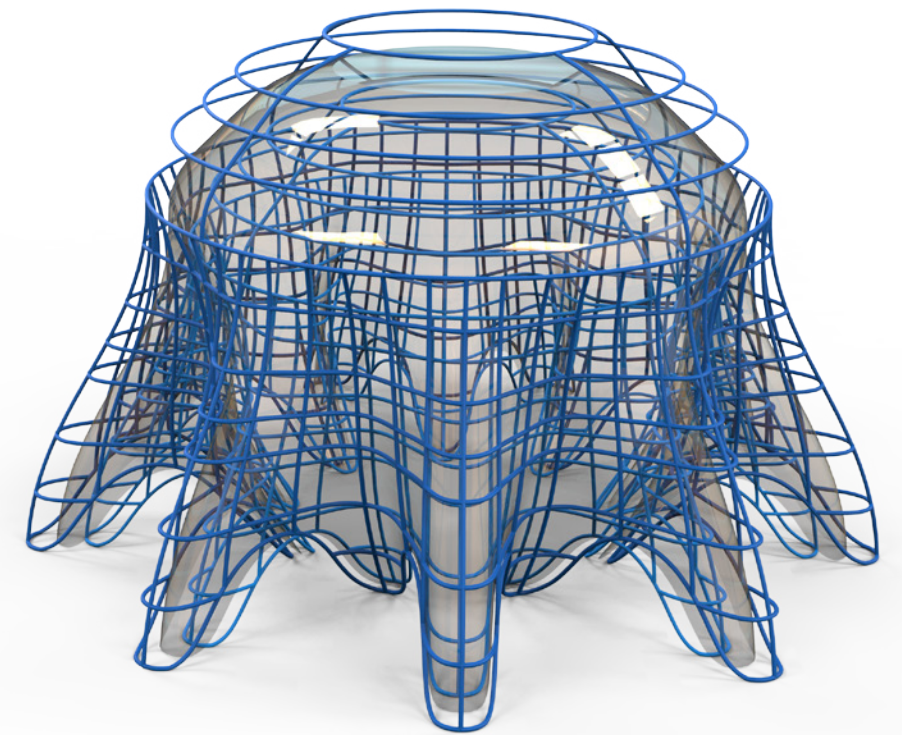


↑ **Imágen superior página 98:** Croquis del funcionamiento de la propuesta. [confección personal]

↑ **Imágen sector medio página 98:** Croquis de las partes de la propuesta y su posible crecimiento. [confección personal]

← **Imágen inferior página 98:** Croquis del movimiento asistido por magnetismo. [confección personal]

**Imágen página 99:** Render de la propuesta. [confección personal] →



## 9.2 PROCESO EVOLUTIVO

La evolución e iteración de una propuesta es clave al momento de realizar un proceso de diseño. Es por esto que la propuesta inicial tuvo que cambiar significativamente para llegar a una solución coherente y funcional. Es importante dejar en claro que este proceso, fue caracterizado por la experimentación, incertidumbre y saltos ininterrumpidos de una idea a otra. El proceso no fue lineal, y el hilo conductor no siempre fue causal. Para fines de la presentación de este proceso, se intentó simplificar la progresión de la idea y se explica lo más claramente posible el proceso.

\*He llamado a este principio, por el cual cada variación leve, si es útil, se preserva, por el término de la selección natural.

### 9.2.1 Etapa I: Fuente de energía: Cuestionamiento sobre input energético y tipo de movimiento

#### Shelley:

Esta primera etapa se trató de la iteración y re-diseño de la idea inicial que consideraba, como se mencionó anteriormente, una estructura

sostenedora del organismo vegetal ubicada sobre una suerte de tentáculos de nanocelulosa que reaccionan a estímulos electromagnéticos generando el movimiento oxigenador del agua.

Durante las primeras semanas del proceso de título, ya buscando una manera de llevar este mecanismo a la realidad, se descubre que un sistema magnético siempre tenderá al equilibrio, por lo que los tentáculos no generarían el movimiento deseado sino que se mantendrían a medio camino entre arriba y abajo. Debido a esta situación surge la búsqueda de nuevas formas de movilizar los tentáculos de la propuesta, repensando incluso los tentáculos mismos. Cabe mencionar que esta etapa se centra en la generación del movimiento del agua, por lo que el sistema de sujeción de las plantas y su conexión con la nanocelulosa no se profundiza. En etapas posteriores se tratará únicamente esta problemática y ya en las etapas finales se fusionan ambas en una única solución.

## 9.1 PROTO-ESPECIE: SHELLEY

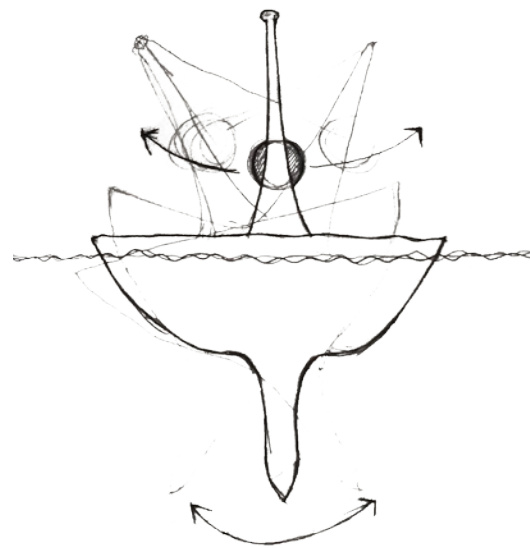
En base a toda la información y experimentación expuesta anteriormente, se propone, como primera aproximación, una estructura basada en tentáculos que soporte un organismo vegetal y que pueda reaccionar, al mismo tiempo, a estímulos electromagnéticos para mantener un ciclo de oscilación continuo. El recubrimiento de la estructura principal estaría dado por la nanocelulosa que le entregue protección, empuje y capilaridad al sistema.

Una fusión entre una medusa y una piel de nanocelulosa, permite generar un organismo que mantiene en movimiento el agua para su oxigenación y se protege del medio; asimismo la inclusión de especies vegetales posibilita la purificación de contaminantes (nitrógeno) en el medio acuoso. De este modo se integra en una sola propuesta los principios de la acuaponía, soft robotics en cuanto a la movilidad de un material blando y un sistema de capilaridad biológico.

Al igual que el personaje de ficción creado por Mary Shelley: el monstruo de Frankenstein, la propuesta es un organismo creado a partir de diversas partes. Son éstas las que le otorgan su capacidad oxigenadora y filtradora de agua. Es por esto que se decide nombrar al proyecto, y a sus múltiples evoluciones, en honor a la autora de esta novela: "Shelley".

**Shelley Mark I:**

La primera aproximación consideró un movimiento oscilante o pendular. La propuesta sopesaba un cuerpo central flotante con la capacidad de oscilar hacia un lado y el otro sin abatirse. Sumado a esto, se propone que este objeto tenga una protuberancia en su parte inferior completamente sumergida que funcione de contrapeso y que además aproveche el movimiento oscilante para mover el agua y así oxigenarla.



De la mano de esta idea, surge como referente la medusa llamada "Fragata Portuguesa"; esto debido a que la mitad de su cuerpo se encuentra sumergido en el agua y el resto por sobre ésta. Además, la porción superior tiene una forma aerodinámica que hace pensar en una especie de veleta de aire. Es por esto que fusionando ambas, se piensa en un cuerpo oscilante potenciado por viento. Cabe destacar que el movimiento que se necesita para oxigenar el agua, no necesita ser demasiado potente, una oscilación leve produce el resultado deseado.



Al pensar en un movimiento oscilante se llega a referentes mecánicos como el "péndulo infinito", uno de los tantos mecanismos de movimiento perpetuo que existen. En este sentido, las máquinas de "energía libre" se presentan como una fuente de poder interesante a explorar para aplicar en la propuesta ya que en primer lugar, pueden funcionar por largos periodos de tiempo y también son sustentables en cuanto al consumo energético. Se propone entonces una especie de "bote" o superficie con una orza sumergida, recubierta por nanocelulosa, que se mueve gracias al movimiento de un péndulo de movimiento perpetuo. Sin embargo, la aplicación de este sistema bajo agua generaría más roce del que generaría en su interacción con el aire lo que produciría la detención, casi inmediata del mecanismo. Es por esto que se descarta esta idea, y se empiezan a explorar otras soluciones.

**Resultados etapa I:**

El sistema evoluciona desde el movimiento de tentáculos a la oscilación de una sola pieza que actúa como orza y oxigenador del agua. El control de una sola pieza simplifica el sistema y puede ser más conveniente. Además, el movimiento necesario para la oxigenación del agua, como se mencionaba anteriormente, no necesita ser exagerado por lo que una sola "aleta" podría cumplir fácilmente con los requerimientos.

← **Imagen columna izquierda, página 100:** Croquis de la propuesta Shelley Mk I. [confección personal]

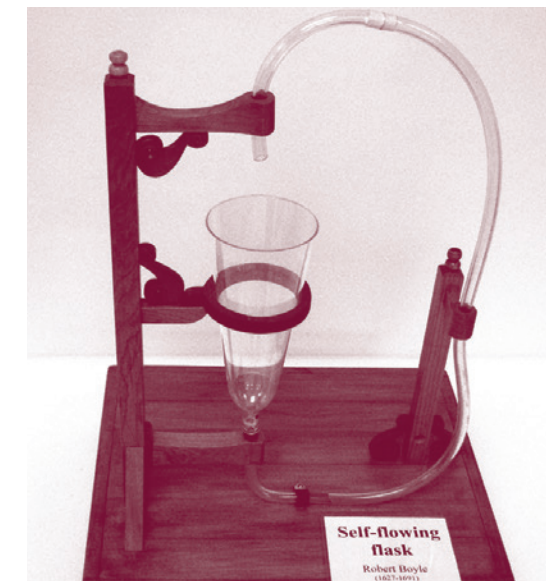
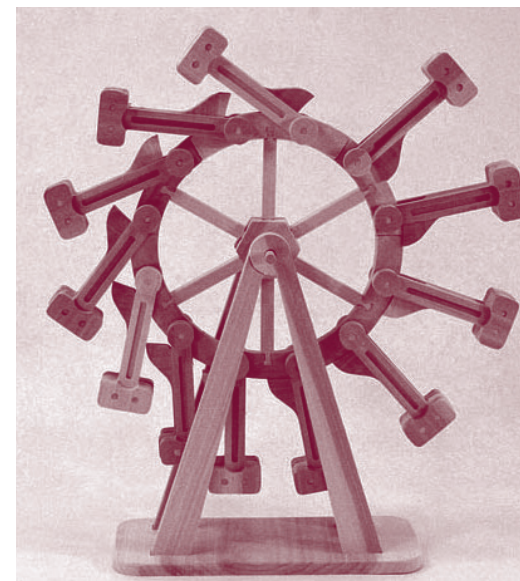
↑ **Imagen columna derecha, página 100:** Medusa conocida como Fragata o carabela portuguesa. (<https://www.nauticalnewstoday.com/la-carabela-portuguesa-barco-guerra-mas-temido/>)

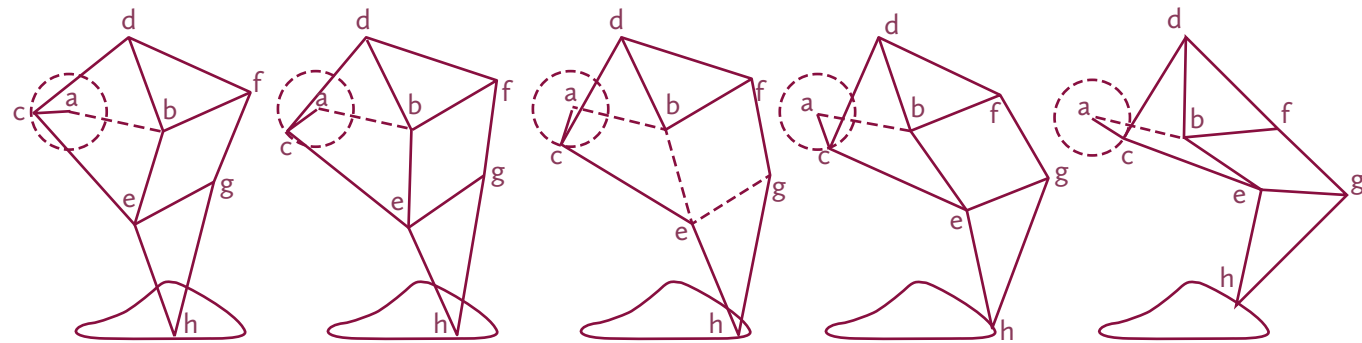
**Imagen inferior izquierda, página 101:** Rueda de sobrepeso → (<https://gr.pinterest.com/explore/perpetual-motion-toys/?lp=true>)

**Imagen inferior derecha, página 101:** Frasco de autollenado. → ([https://oss.adm.ntu.edu.sg/2014-dm2011/author/hedrensum/?oss\\_filter\[4\]=research](https://oss.adm.ntu.edu.sg/2014-dm2011/author/hedrensum/?oss_filter[4]=research))

**MOVIMIENTO PERPETUO**

Como su nombre declara, las máquinas de movimiento perpetuo son mecanismos que se mueven infinitamente, sin detenerse. La construcción de sistemas de este tipo datan de la Edad Media e incluso hoy en día internet está lleno de experimentos que claman haber construido una máquina de estas características. A pesar de que sería extraordinario lograr algo como esto, las leyes de la termodinámica que explican la relación de los distintos tipos de energía, no permiten la existencia de estos mecanismos. Sabemos, gracias a ellas, que la energía no se crea ni se destruye y que la energía tenderá a la entropía es por esto que cualquier especie de roce entre piezas generaría una pérdida de energía que terminaría por detener el sistema, lo mismo ocurre con la fricción de las piezas con el aire o la generación de calor por el roce de las piezas. Algunos de los ejemplos más conocidos son las ruedas de sobrepeso o el frasco de autollenado de Robert Boyle.





### 9.2.2 Etapa II: Biomecánica: Exploración de mecanismos de locomoción

Al descartar los mecanismos de movimiento perpetuo bajo el agua, comienza la búsqueda de referentes de mecanismos de propulsión acuática. En este sentido se rescatan, en primera instancia, los motores y sus distintas naturalezas. En primer lugar los de agua, aquellos que al girar son capaces de movilizar grandes cantidades de agua y propulsar, por ende, estructuras como por ejemplo botes. Este es el caso de los motores a vapor que aparecen en Mississippi, Estados Unidos durante el siglo XIX. Éstos se componen, básicamente, de una gran rueda con paletas, que se mueve por el movimiento del vapor y dada su estructura empuja agua al girar sobre sí misma.

Por otro lado, surgen también los motores de viento, aquellos que son propulsados por las corrientes de aire; se consideraron hélices, molinos, entre otros. De la mano de esta idea surge Theo Jansen como una referencia importante en cuanto a motores eólicos que propulsan grandes estructuras. El artista neerlandés es el creador de lo que se conoce como "Strandbeests", esculturas cinéticas que caminan por las playas de Holanda. Estas grandes estructuras, hechas de tubos de plástico, desarrollaron por "evolución" un sistema único de tracción de sus piernas, que les permite caminar como si fueran

organismos vivos. Básicamente Jansen diseñó el conjunto y la medida óptima de tubos los que ubicados de la manera correcta e impulsados por una manivela de viento, generan un caminar orgánico que logra movilizar todo el cuerpo del animal.

Theo Jansen, logró llegar a sus resultados, utilizando la evolución; construyó distintas especies de bestias de viento y replicó las características de los "linajes" que mejor respondieron a las inclemencias del clima y del terreno. Este proceso se repitió variadas veces hasta llegar a especies que podían saber cuando estaban cerca del agua y darse la vuelta o incluso ceñirse al piso en caso de una posible tormenta.

#### Shelley Mark II:

En base al trabajo de Jansen y como forma de entender el mecanismo de tracción que él propone, se realizaron simulaciones del movimiento de la pierna de Jansen pero cambiando la longitud de los distintos tramos de tubo. Esto intentaba buscar el movimiento que mejor se pudiera adaptar a una aleta acuática, uno que se asemejara quizás al movimiento de la aleta anal de un tiburón, que se mueve de lado a lado. Se pudo observar cómo cambiaba el recorrido de la parte inferior del sistema y cómo se generaban tramos de paso rápido y otros de paso lento, transiciones que se podrían exacerbar

↑ Imágen superior izquierda, página 102: Botes a vapor, Mississippi. (<http://www.caribbean-newsdigital.com/noticia/american-cruise-lines-introduce-el-nuevo-barco-de-cruceros-fluviales-queen-mississippi>)

↑ Imágen superior derecha, página 102: Fotografía de una de las invenciones de Theo Jansen. (<http://barcelona.b-guided.com/en/noticias/b-inspired/artfutura-141.html>)

↑ Diagrama página 102, imágen inferior: Diagrama explicativo del movimiento de las extremidades de Jansen. [confección personal]

para generar un movimiento de agua específico. Como forma de facilitar el proceso se nombran los distintos tramos y se escoge el intervalo EH (extremo inferior) para modificar su longitud. La extensión original es 50, y se observa que a medida que el número aumenta, el extremo deja de generar una forma continua y termina por dibujar un recorrido que se cruza a sí mismo. En base al movimiento que se busca se decide que 70 es la longitud de EH que genera el movimiento oscilante requerido.

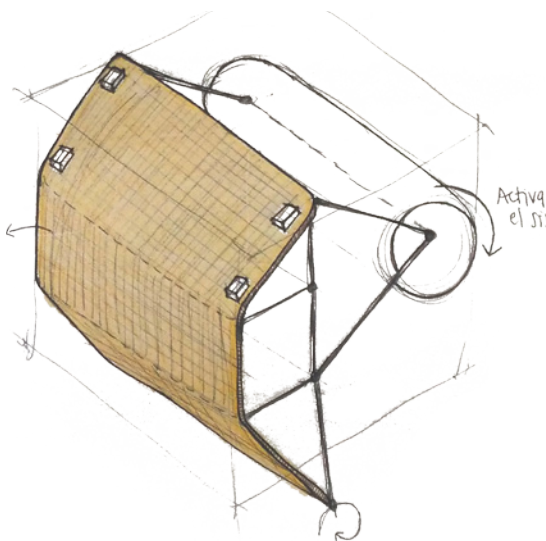
Luego del proceso de entendimiento del sistema, se propone la utilización de dos de las piernas de Theo Jansen para poder movilizar el proyecto. Shelley II consta de la unión de las extremidades de Jansen para generar la propulsión, las que se encontrarían por lo menos parcialmente bajo el agua. El movimiento de éstas sería el que generaría el flujo del medio. En cuanto al biofilm, en un principio se pensó que éste envolviera a la extremidad, pero la forma de ésta se distorsiona durante el proceso de movimiento. Es por esto que se identificaron los tramos que no se modifican (triángulo BDF), y se decide enganchar la nanocelulosa allí mediante la creación de orificios y remates. Es claro que esta versión de la propuesta no pro-

fundiza en la sujeción de la planta, y a pesar de que no se especifique debe tenerse en cuenta que la nanocelulosa debe quedar en contacto con ésta.

Con una idea más o menos consolidada se procedió a hacer un prototipo de la idea y probarla. Se comenzó imprimiendo las piernas de Jansen en 3D; para esto se utilizaron dos pares de piernas y se logró el movimiento que se esperaba, pero no sin dificultad. Los resultados de la impresión y posterior armados de este sistema dieron luces de la cantidad de partes pequeñas que tiene el modelo, además de la alta probabilidad de un atasco de la nanocelulosa en las pequeñas articulaciones.

#### Resultados etapa II:

La profundización y experimentación en esta etapa, descartan las extremidades de Jansen como una posible propulsión para Shelley. Este sistema mecánico necesita del fluido y preciso movimiento de sus partes, condiciones que no pueden ser aseguradas en contacto con un biofilm como lo es la nanocelulosa. A pesar de estas circunstancias, los motores siguen siendo considerados una posibilidad de propulsión



Imágen inferior izquierda, página 103: Croquis Shelley Mark II. [confección personal] →

Imágen inferior derecha, página 101: Fotografía del prototipo de las extremidades de Jansen. [Fotografía de autoría del alumno] →

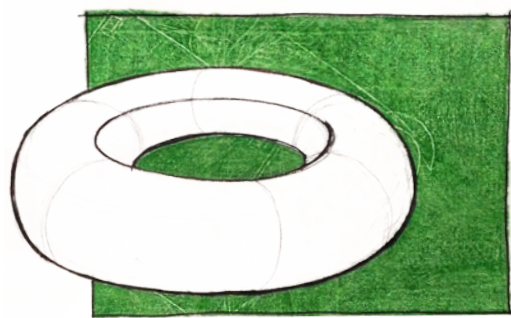


### 9.2.3 Etapa III: Permeabilidad: Mecanismos de capilaridad e irrigación

Paralelamente, y como se detalla en uno de los capítulos anteriores, se realiza una experimentación de distintos sistemas de cultivo de plantas, tanto para testear el tipo de organismo vegetal a utilizar como el mecanismo de cultivo y riego. En base a los resultados de esta experimentación, el proyecto se torna hacia mecanismos con capilaridad en vez de sistemas hidropónicos, es decir, la utilización de la tierra como sustrato para la planta sumado a la obtención de agua por porosidad. Es por esto que en esta nueva etapa se desarrollan ideas que abordan esta problemática principalmente.

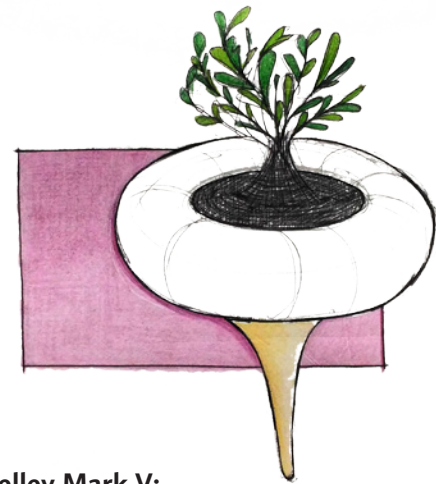
#### Shelley Mark III:

En relación a las experimentaciones con sistemas por capilaridad, es clara la necesidad de que la nanocelulosa esté en contacto directo con la tierra o las raíces de las plantas. Por lo tanto, el sistema a proponer debía de flotar sobre el agua, poder sostener a los organismos vegetales y de alguna manera conectarse con el biofilm, el que a su vez, debía estar en contacto directo con el agua. Se propone entonces una especie de toroide flotador que funcione como el cuerpo principal y al que se le enganche el biofilm.



#### Shelley Mark IV:

En base a Shelley III surgieron aproximaciones en cuanto a la ubicación de las plantas y la sujeción del biofilm. Shelley IV propone que la nanocelulosa se ubique desde el orificio del "toro" hacia abajo y que la planta se posicione directamente encima hidratándose debido al contacto con el biofilm. Este sistema, podría funcionar pero se considera que desaprovecha todo el espacio que el contenedor entrega, dejando todo ese espacio sin utilizar.

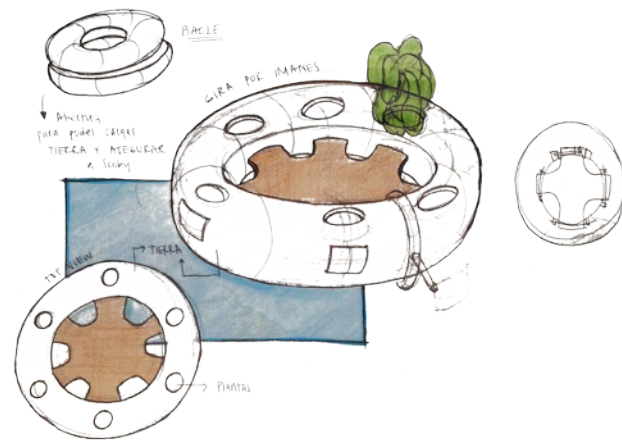


#### Shelley Mark V:

Shelley V le hace frente a la debilidad de su predecesor utilizando el toroide para ubicar dentro de él la tierra y las plantas. Cuenta con orificios donde se ubican los organismos vegetales quedando todas ordenadas concéntricamente. Esta versión abarca la sujeción de la nanocelulosa de manera distinta: aprovecha el espacio interior del toroide para posicionar el biofilm. Éste queda en contacto con el agua, pero ingresa al cuerpo principal a través de una ranuras que lo conectan con el sustrato de las plantas. Éste se fija a la estructura gracias a unos topes que le imposibilitan deslizarse hacia afuera.

Esta versión también detalla la necesidad de poder abrir el soporte principal para afirmar la nanocelulosa, luego posicionar la tierra y la planta para terminar por cerrarlo.

La debilidad principal de esta solución es básicamente que al estar toda la estructura llena de tierra el peso de la solución anula la flotabilidad del sistema. Otra de las interrogantes que surgen de esta versión sería el mecanismo de movimiento; se pensó, a grandes rasgos, la posibilidad de generar con ella una especie de rueda electromagnética que girara sobre sí misma, pero no se desarrolló más allá del concepto.



#### Shelley Mark VI:

Esta versión fusiona las predecesoras Mk V y Mk IV. Ésta propone que el toroide, es la que acoja a las plantas y que la nanocelulosa se conecte con ellas por debajo, quedando sumergida completamente en el agua. El biofilm, en su parte inferior, debería poseer un enganche (snap fit) a una suerte de lastre que lo mantuviera estirado en todo momento y que pudiera, por su masa, generar un movimiento oscilatorio de lado a lado que oxigenara el agua, a modo de péndulo perpetuo.

Al profundizar e intentar expandir los sistemas de movilización de la propuesta existió una inclinación hacia la potencia del viento; pensando primero en la incorporación de una vela que recuerda la influencia de la "fragata portuguesa", pero se exploraron, al menos conceptualmente, distintos enfoques

← Imagen inferior izquierda, página 104: Croquis idea Shelley III. [confección personal]

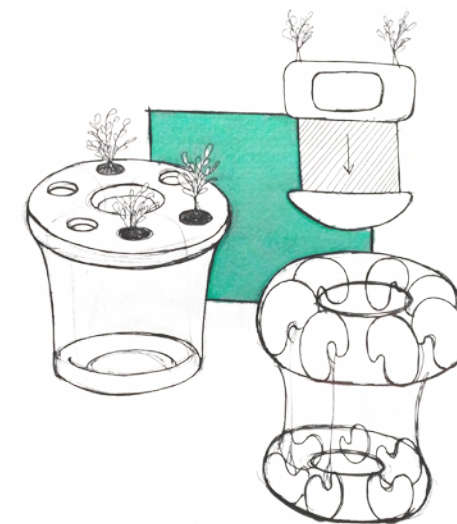
← Imagen inferior derecha, página 104: Croquis idea Shelley V. [confección personal]

← Imagen superior derecha, página 104: Croquis idea Shelley IV. [confección personal]

Imagen inferior izquierda, página 105: Croquis idea Shelley VI. [confección personal] →

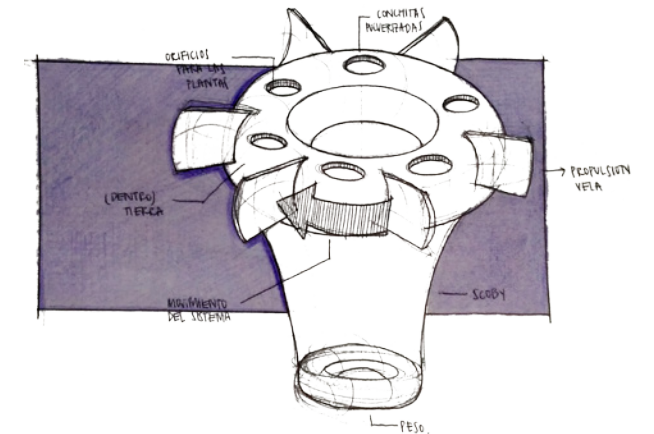
Imagen superior derecha, página 105: Croquis idea Shelley VII. [confección personal] →

← Imagen inferior derecha, página 105: Croquis idea Shelley VIII. [confección personal]



#### Shelley Mark VII:

En primer lugar, y como modificación del modelo anterior, se propone generar una especie de hélice en la superficie principal que pudiese captar el viento y girar sobre sí misma. Esto a través de variadas protuberancias que saldrían desde la estructura flotadora alrededor de toda la figura. El problema recae en que este sistema no es el mejor para captar el viento, las aspas de la hélice, deberían de estar ubicadas como en un molino para un óptimo aprovechamiento del viento.

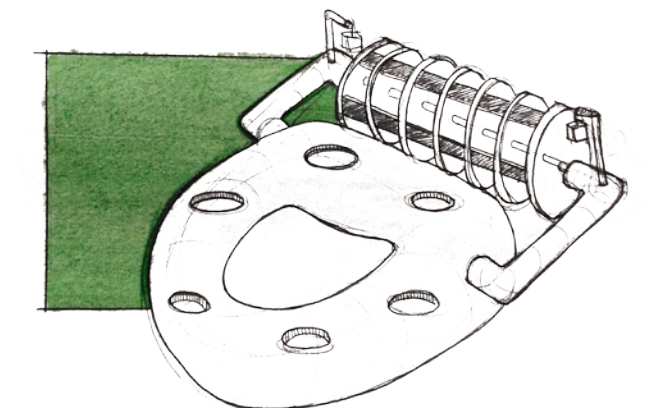


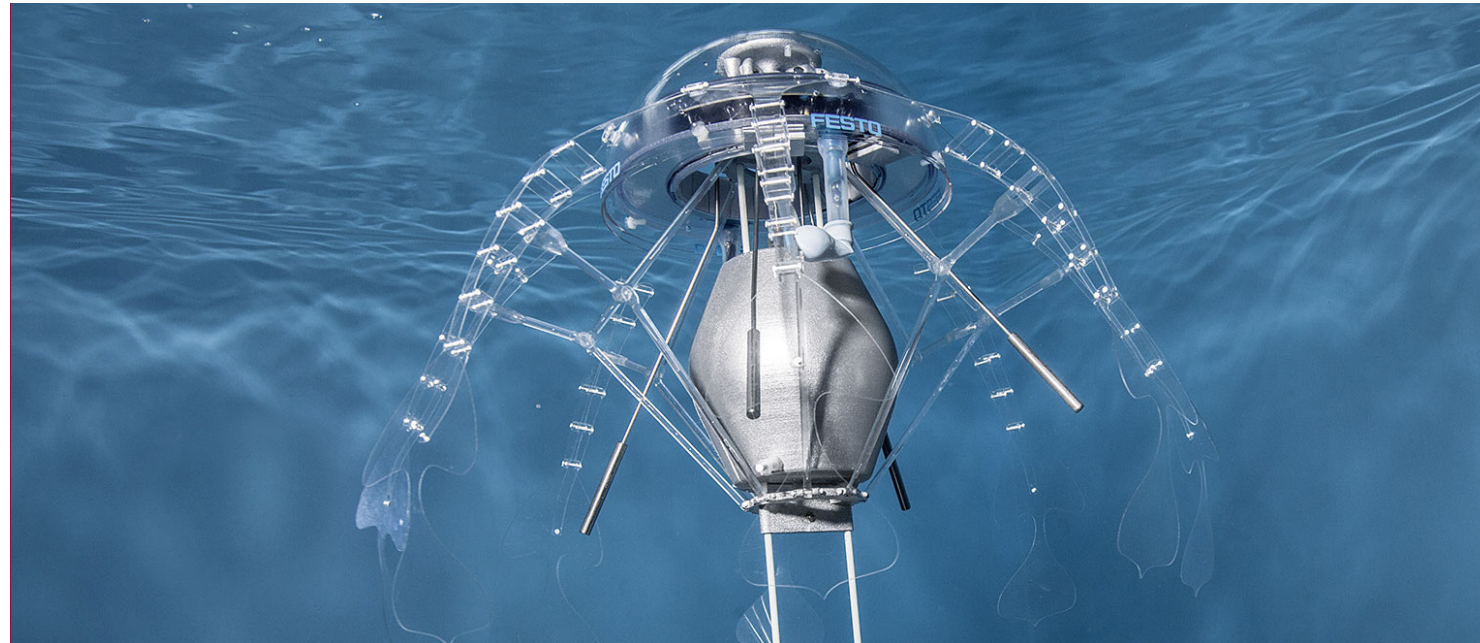
#### Shelley Mark VIII:

Otra de las opciones que se consideraron fue la inclusión de algún tipo de motor de agua, como los de los botes a vapor con aspas que pudieran propulsar al sistema, pero aún así hacía falta una fuente energética que pudiera hacerla girar. Tanto el viento como el magnetismo fueron algunas de las posibilidades que se barajaron conceptualmente para poder movilizar este motor acuático, y ambas serán desarrolladas y exploradas en profundidad más adelante.

#### Resultados etapa III:

Esta etapa presenta al toroide como una forma de soporte tanto atractiva como funcional para el sustento de los organismos vegetales. La cantidad de sustrato a ingresar al soporte debe ser reducida para evitar el sumergimiento de la propuesta. El mecanismos de propulsión o movimiento aún no es claro, pero se pretende profundizar en esto en las etapas por venir.





#### 9.2.4 Etapa IV: Retornando al movimiento de la medusa

La claridad en relación a la forma dio paso al cuestionamiento sobre la movilidad del sistema. Las posibilidades existentes en cuanto a propulsión eran múltiples y variadas, pero todas representaban movimientos muy mecanizados y poco orgánicos; en este sentido se perdía la iniciativa inicial de la inspiración en la naturaleza y la creación de un movimiento "vivo". Theo Jansen y sus criaturas, todavía estaban queriendo hacerse presentes, y la influencia inicial de organismos vivos como las medusas, llamaban a la creación de un movimiento más fluido, coherente y natural. Luego de una búsqueda de referentes, inevitablemente, se regresó a la idea de robots que imitan el movimiento animal. Específicamente las medusas robóticas de la empresa FESTO, también conocidas como "Aquajelly".

Estas construcciones sintéticas están programadas para funcionar bajo el agua y mover sus aletas de una manera orgánica y estrechamente relacionada con la propulsión de las medusas. Lo interesante y rescatable de este ejemplo, es la reinterpretación del movimiento del animal. El impulso logrado no es idéntico al original, no se trata de una sola membrana que se mueve gracias a una onda expansiva a través de ella, sino que se logra producir un sistema que empuja y tira las aletas del robot de una manera

que nos recuerda al movimiento de las medusas. Obviamente la similitud de forma nos hace pensar en el animal acuático de inmediato, pero al verla moverse, no nos cuestionamos que el movimiento haya sido inspirado en la de otro animal más que la medusa.

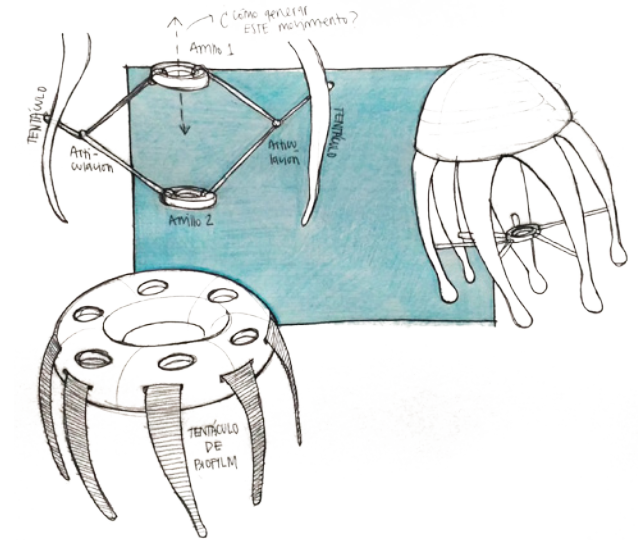
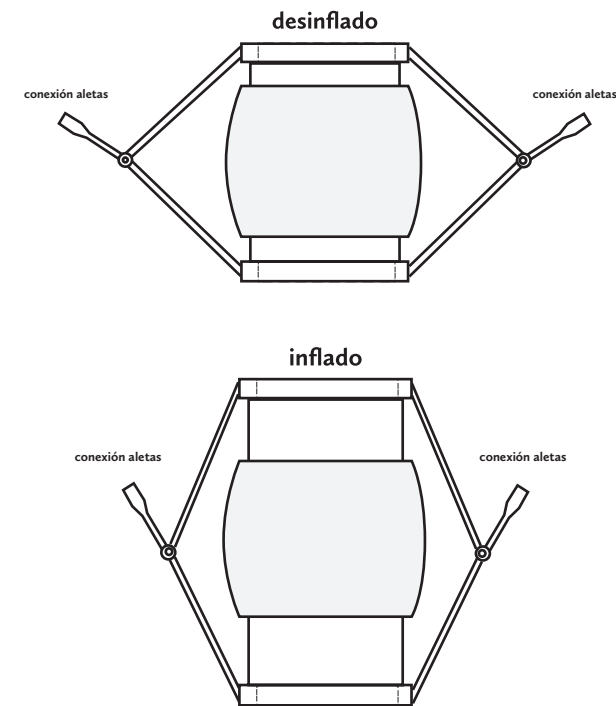
La oscilación de las aletas es posible gracias al traslado vertical de un par de anillos que se conectan a través de ciertos pivotes y articulaciones al material transparente que hace las veces de aleta. El movimiento vertical hacia arriba y hacia abajo de los anillos, ponen el sistema en acción y éste es posible gracias a una cavidad que se llena y se vacía de aire. Sumado a esto, las aletas, poseen una especie de esqueleto que les permite obtener una resistencia que al parecer el material por sí solo no posee.

↑ **Imagen página 106:** Fotografía de "Aquajelly" confeccionada por FESTO. (<https://www.festo.com/group/es/cms/10227.htm>)

**Diagrama página 107:** Diagrama explicativo del funcionamiento del mecanismo motor de Aquajelly. [confección personal] →

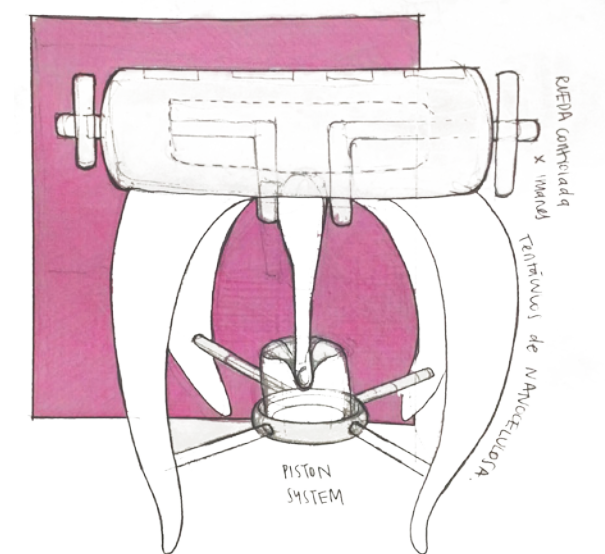
**Imagen superior derecha, página 107:** Croquis explicativo de Shelley Mk IX. [confección personal] →

**Imagen inferior derecha, página 107:** Croquis Shelley Mk X. [confección personal] →



#### Shelley Mark X:

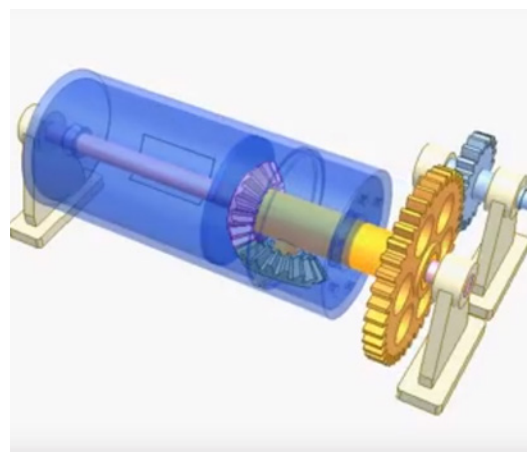
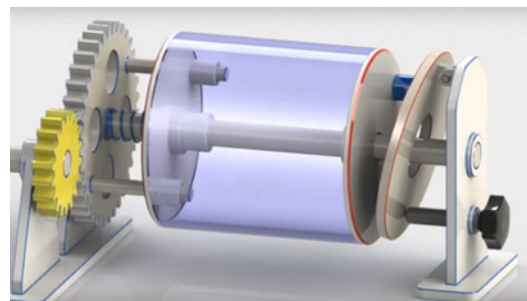
Como podemos ver en la imagen inferior, el pistón se encuentra unido directamente a los tentáculos del sistema y se engancha al cuerpo principal. Shelley X considera un eje que atraviesa todo el cuerpo, y que es el apoyo del pistón. El eje realiza un movimiento rotacional que se convierte en movimiento vertical al transmitirlo al émbolo. El movimiento giratorio estaría dado por el giro de unas ruedas que se encuentran en los extremos. Dado que la rotación que moviliza al pistón podría lograrse con una rueda o una hélice, el proceso se tornó hacia mecanismos existentes que transformarían movimiento rotacional en longitudinal.



#### Shelley Mark IX:

En base a este sistema, Shelley IX propone la incorporación de aletas de nanocelulosa que provengan del toroide y que puedan ser movilizadas de una manera similar a Festo, volviendo así a la inspiración biológica inicial, y al movimiento que siempre se tuvo en mente. Aún así éste tuvo que ser modificado y el principal desafío consistió en cómo generar el movimiento vertical del anillo ya que Shelley, pretende ser sustentable por lo que la utilización de una bomba de aire no cumpliría estos requerimientos. El movimiento vertical, debía de estar producido gracias a alguna energía abundante y renovable.

Comienza así un proceso de investigación, experimentación y diseño de sistemas que podrían generar el impulso vertical que se necesita. Los pistones surgen como los primeros grandes referentes en este proceso ya que éstos, por lo menos en su funcionamiento dentro de los motores de los autos, generan un movimiento vertical que podría reemplazar a los anillos y producir el mismo efecto. Es por esto que surge la idea de incorporar, en primera instancia, un pistón al sistema. Uno que se ubique en la parte central de éste y que en su movimiento vertical se sumerja y pueda empujar las aletas de biofilm.

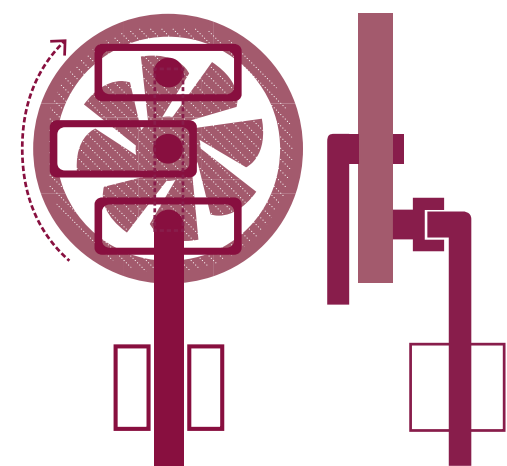
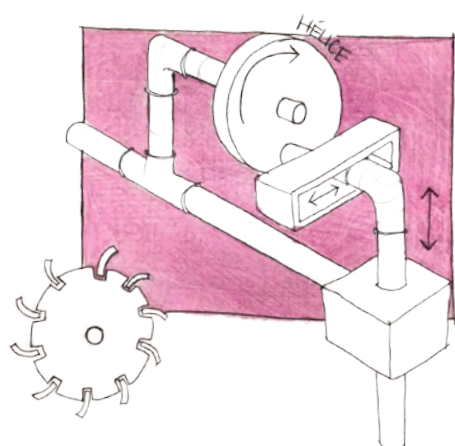


### Shelley Mark XI:

Bajo esta búsqueda, los primeros sistemas que aparecen son los que se ven en la parte superior. Ambos están formados tanto por un sistema rotatorio como por un eje que avanza y retrocede longitudinalmente. En el primer caso, esto se logra por la inclinación del disco que rota y que es donde se apoya el eje y en el segundo caso este trabajo es reemplazado por un engranaje específico que genera el mismo efecto. Ambas opciones conforman la inspiración para Shelley XI. Ésta consta de una gran rueda o hélice de viento que gira sobre un eje fijo. Apoyada sobre esta hélice se encuentra el pistón que girará con ella, subiendo y bajando, logrando así el movimiento deseado.

Al tratarse de una hélice, y al estar el émbolo enganchada en ella, su movimiento se escapará parcialmente del eje vertical que se está buscando. Es por esto que se agrega una pieza, una especie de riel o guía horizontal que le permiten al pistón mantenerse siempre en el eje deseado. Esto ocurre debido a que el pistón puede trasladarse a lo largo del riel pudiendo mantenerse siempre cerca del centro en cuanto al eje "x" pero aprovechando el movimiento en "y" que le otorga el giro de la hélice.

Sumado a esto, el pistón en su parte inferior, está insertado en una especie de guía que le ayudará. adicionalmente a rectificar su camino y mantenerse en el eje correcto.



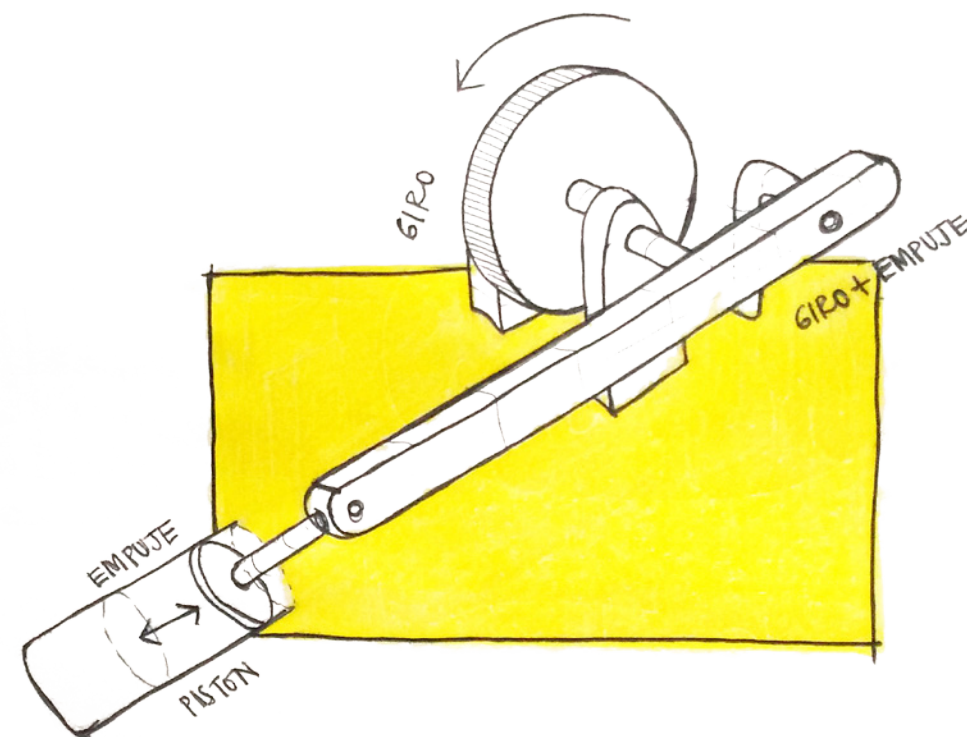
Luego de Shelley XI, y como referente de transformación de rotación a movimiento longitudinal, surge como inspiración, el sistema mecánico de los trenes a vapor. Esto debido a que utilizan el movimiento longitudinal de un pistón para hacer girar las ruedas del transporte. Básicamente este sistema calienta agua para poder generar vapor. Éste se ingresa a la cabina de un pistón y debido a su presión lo empuja hacia adelante; cuando llega al tope, y gracias a un sistema de válvulas, se corta el ingreso de vapor de aire y se abre una compuerta para que este mismo salga. Es ahí cuando el pistón se devuelve y comienza el proceso de nuevo. El émbolo, a la vez que se mueve hacia adelante y hacia atrás, está conectado a un vaivén y una biela, que se enlazan a la rueda principal, haciéndola girar. Este sistema aparece como un mecanismo fácil de replicar y de modificar a las necesidades que posee este proyecto en particular.

← Imágen superior izquierda, página 108: Mecanismo conversor de rotación a movimiento longitudinal. (<https://www.youtube.com/watch?v=YwpGA-5JD4k>)

← Imágen inferior izquierda, página 108: Mecanismo conversor de rotación a movimiento longitudinal. (<https://www.youtube.com/watch?v=Fnj-QEXBqYdY>)

↑ Imágen superior derecha, página 108: Croquis de la propuesta Shelley Mk XI. [confección personal]

↑ Diagrama inferior derecho, página 108: Elevaciones de la propuesta. [confección personal]



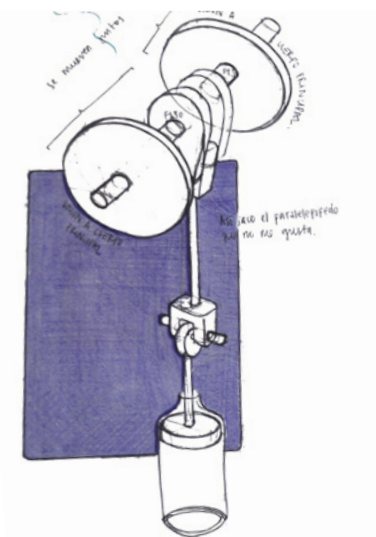
### Shelley Mark XII:

De la mano de esta idea, se considera el sistema pistón-rueda que se muestra en la imagen inferior para el movimiento de los tentáculos. Éste, debido a la presión de aire ingresado por la parte inferior, genera el movimiento del pistón y por tanto de las ruedas del extremo superior. Este mecanismo se extrajo de unos de los experimentos realizados por Bruce Yeani y que están disponibles en la web. Este ejemplo utiliza la presión de aire para gatillar el movimiento, en el caso de los trenes se trata del vapor de aire; la lógica de estos sistemas es parecida y simple, el problema recae en cómo moverlo. En el caso del proyecto y dada la necesidad de mover el pistón, parecía más sensato buscar una energía que pudiera hacer girar la rueda, y que fuera ésta la que movilizara el pistón y no al revés.

↑ Imágen superior, página 109: Croquis del funcionamiento de un tren a vapor. [confección personal]

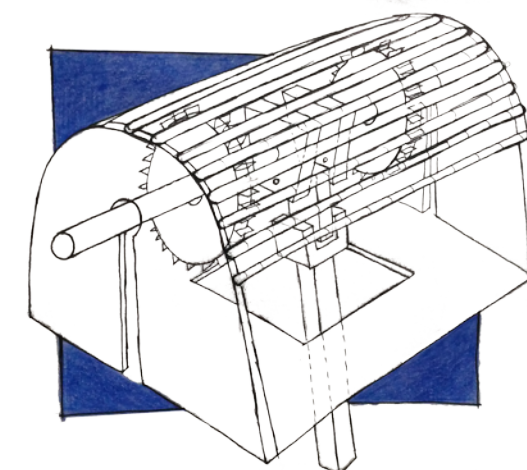
Imágen inferior izquierda, página 109: Croquis Shelley Mk XII. [confección personal] →

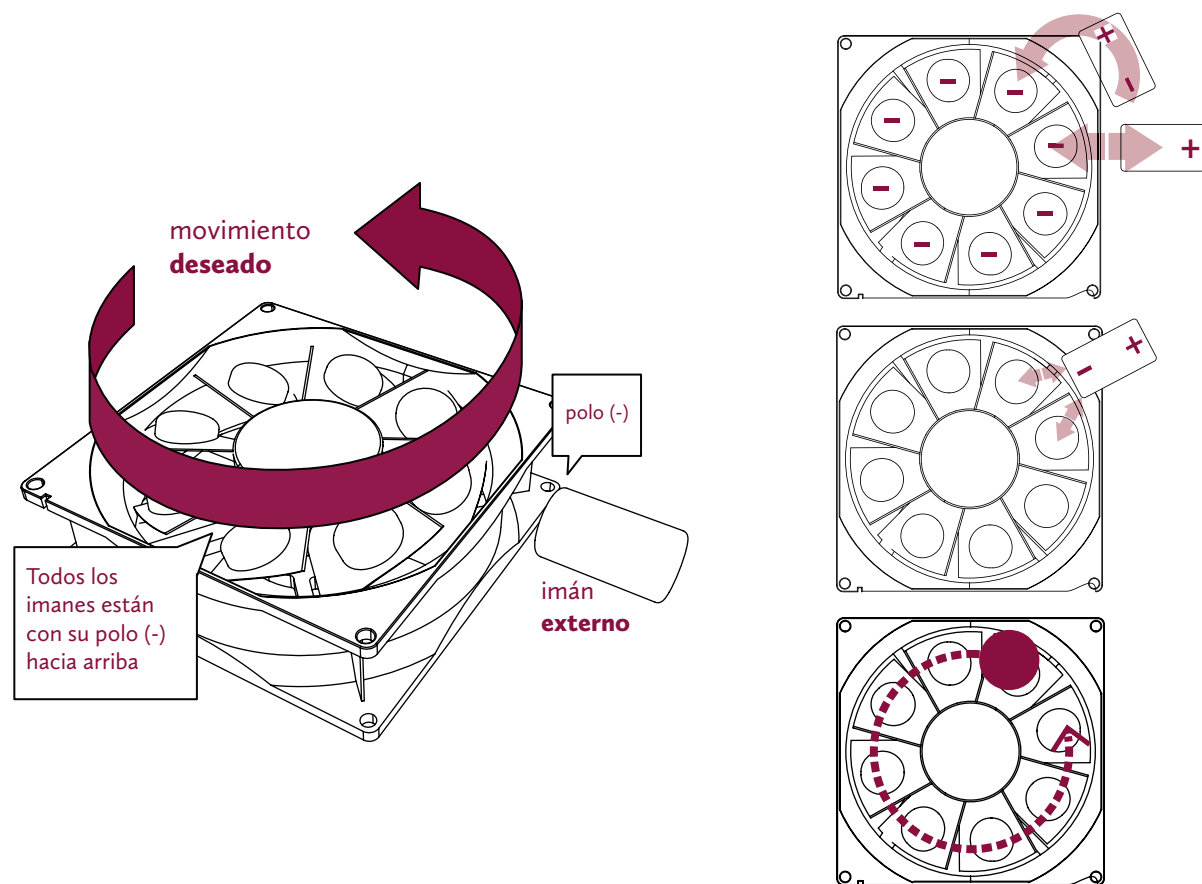
Imágen inferior derecha, página 109: Croquis Shelley Mk XIII. [confección personal] →



### Shelley Mark XIII:

Con esa idea en mente se comenzó a explorar distintos mecanismos que pudieran hacer girar una rueda. En primera instancia se quiso volver al magnetismo; se pensaba que si se generaba una rueda con imanes y un imán externo que tuviera la misma polaridad, la rueda giraría, por repulsión, hasta que los imanes se descarguen; un intento de máquina de movimiento perpetuo. La propuesta consideraba que las ruedas estuvieran imantadas en su circunferencia exterior y que existiera un elemento inmóvil externo que tuviera la misma polaridad y por la cercanía de éstos y el efecto de repulsión que debiera ocurrir, las ruedas giraran, poniendo en movimiento el pistón.





Con el fin de comprobar la viabilidad de esta propuesta, se hicieron pruebas con imanes tanto de fierro (negros) como de neodimio (plateados), siendo los últimos más poderosos que los primeros. Se utilizaron dos hélices y se insertaron imanes en cada una de las aspas, todos con el mismo polo apuntando hacia el mismo sentido. En ambos casos, se acercaba un imán externo, más poderoso que los ubicados en el ventilador, por la cara con la misma polaridad y se observaba que ocurría.

Al realizar las pruebas los resultados no fueron lo esperados. Se probó moviendo el imán exterior de distintas maneras y en distintos ángulos. Fue claro que éste tenía una injerencia en los que se ubicaban en las aspas de las hélices, pero no mantenía un movimiento continuo. En variadas ocasiones, bajo el intento de acercar los dos elementos, el imán de la aspa posterior era atraído por el polo trasero del imán externo debido a sus polaridades, lo que imposibilitaba el giro de la hélice. En otras ocasiones si es que se acercaba el imán externo una sola vez rápido y se alejaba de inmediato el ventilador giraba pero esto ocurría únicamente cuando se tenía una única aspa imantada y no todas. El problema de este experimento, consistía en que el aspa imantada no volvía nunca al mismo lugar por lo que no había forma de automatizar el proceso, ya que no se tenía certeza de dónde

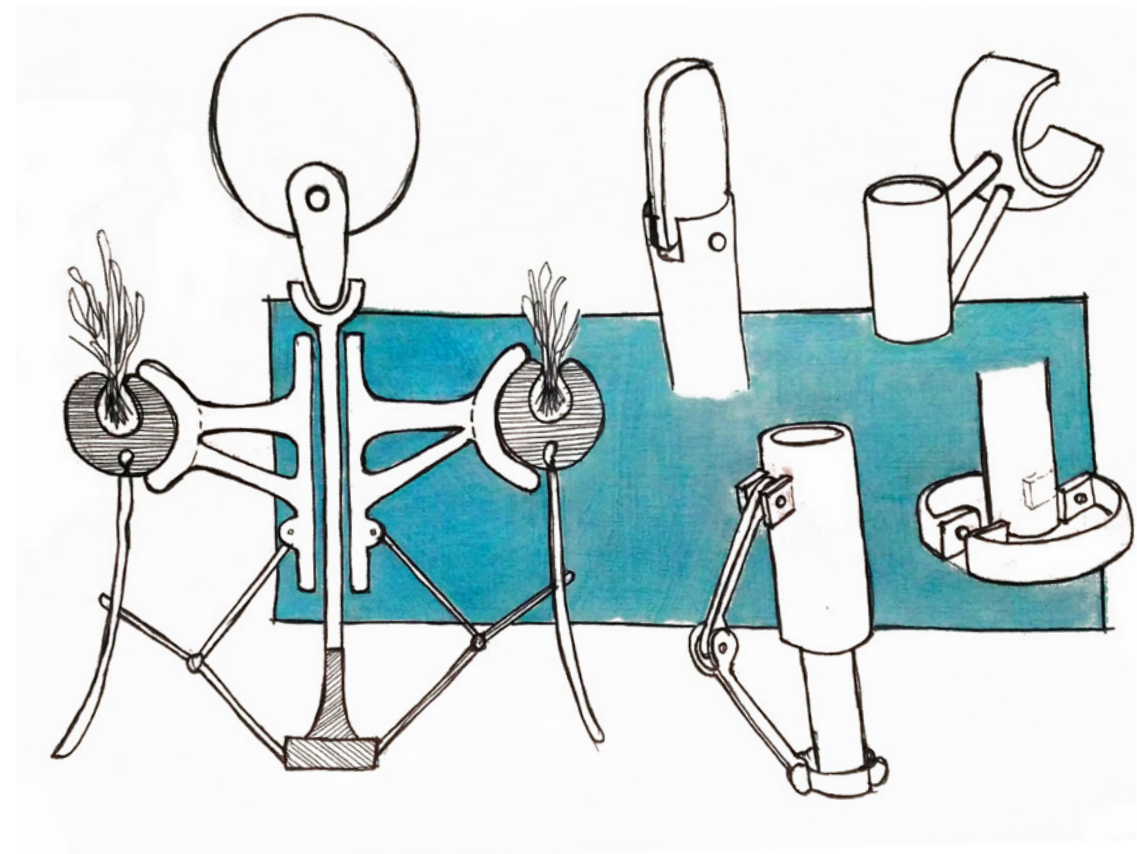
iba a detenerse el aspa imantada. La única forma de hacerlo girar como se esperaba era poner el imán externo sobre una de las aspas y girar con las ellas. Esta situación no soluciona la búsqueda de una fuente de energía, sólo replica el problema.

En base a estos resultados, y luego de profundizar más acerca de este fenómeno, se llega a la misma conclusión inicial, los imanes y el magnetismo como fenómeno tienden al equilibrio, por lo que la única forma de hacer que esto funcione sería ir cambiando la polaridad del imán exterior constantemente y ubicar estratégicamente los magnetos de la circunferencia. Esto dificulta y complejiza el sistema por lo que se optó por otro camino: el viento.

↑ **Diagrama página 110:** Explicación de los fenómenos electromagnéticos observados. [confección personal]

**Imagen superior, página 111:** Croquis de la propuesta Shelley Mk XIV. [confección personal] →

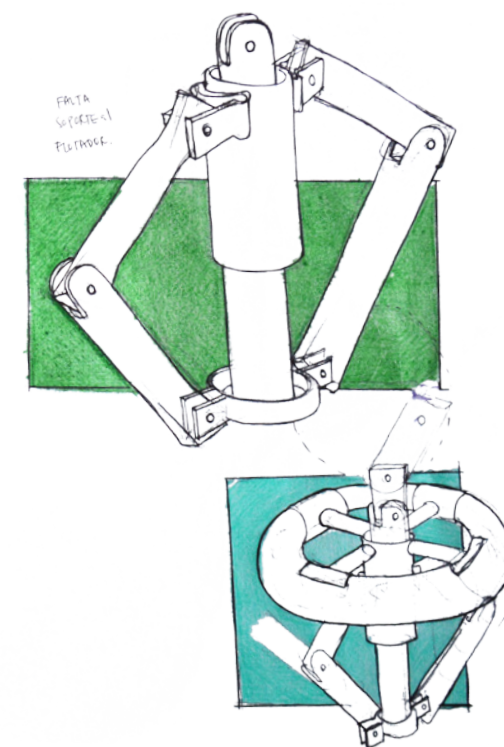
**Imagen inferior, página 111:** Croquis de la propuesta Shelley Mk XIV. [confección personal] →



#### Shelley Mark XIV:

Es por esto que el simbiote retoma la propulsión eólica como fuente de energía. Shelley XIV propone que la rueda principal se encuentre sobre el agua y se mueva por la fuerza del viento, es decir, que funcione como una hélice. Ésta generará el movimiento de una pequeña pieza unida al pistón, generando el movimiento vertical. Por su lado el pistón, que está conectado al sistema de ejes inspirados en "Festo" ejerce un empuje que posibilita la oscilación de las aletas de la especie.

Como podemos ver en los esquemas, el eje del pistón central estaría conectado al toroide a través de un sistema de piezas que "abrazan" al soporte principal. Además, se diseña un sistema de bisagras que permiten la movilización de la nanocelulosa.





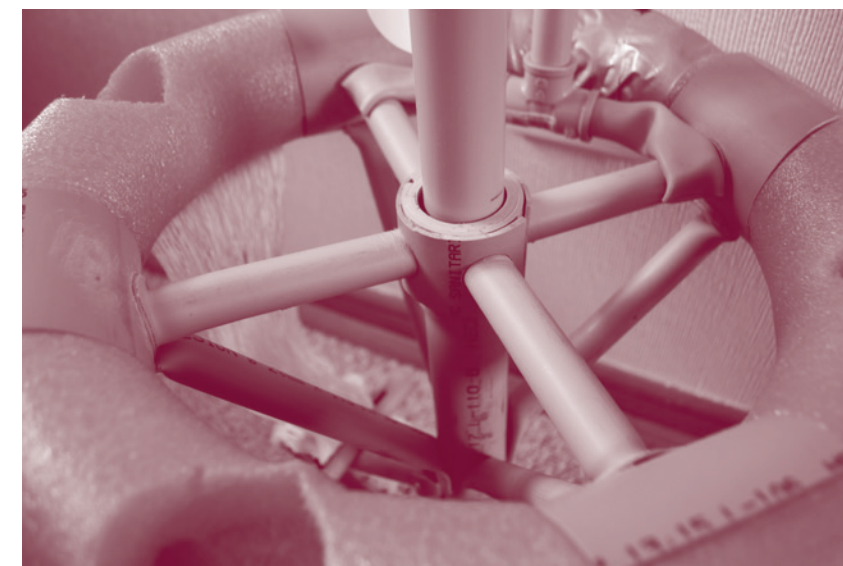
**Shelley Mark XV:**

Esta versión de la propuesta fue prototipada y se trata de una leve modificación de Shelley IV. La estructura toroidal fue hecha con un flotador de piscina al que se le hicieron orificios para las plantas. Los tubos, el pistón y los ejes controladores de las aletas, fueron hechos con tubos de PVC de distintos grosores. Y, por último, la hélice se extrajo de un ventilador de escritorio.

En primer lugar, se cortó y unió el flotador para formar un toroide del tamaño adecuado (24,5 cm interior). Se cortaron 4 pedazos de tubos de PVC en forma de "C" para poder sujetar el sistema mecánico a la forma. Se les agregaron 4 tubos que se engancharon en la guía de trayectoria del pistón. Adicionalmente se agregaron 4 tubos más desde la pieza C hasta la guía del pistón en dirección diagonal para triangular la fuerza y evitar que la pieza se cayera. Un poco más abajo, se generaron dos piezas de enganche las que se perforaron después y se unieron, posteriormente, a los ejes de las aletas. Con un tubo y la tapa de éste se generó un largo pistón que se conectó en la parte inferior con los ejes y en la parte superior a la hélice. Esta unión se generó a través de una pieza la que se atravesó con un perno y una pequeña tuerca, consiguiendo así encontrarse unida a la hélice pero distancia de ella. Finalmente, la hélice, tuvo que ser agarrada al sistema de piezas con forma de "C" a través de un eje que se le incrustó por la parte de atrás. Cabe agregar que en este prototipo, las aletas fueron prototipadas con textiles porosos, las mismas que se usaron para la experimentación de maceteros autorregantes.

**Conclusiones del prototipo:**

1. El sistema de ejes que permite el movimiento del biofilm, debe conectarse a la nanocelulosa de una manera alternativa a la prototipada ya que el sistema de enganche fue ineficiente. Repartir el esfuerzo o incluir mecanismos de fijación que no destruyan la capa de biofilm, serán necesarios para prolongar la vida útil del sistema de irrigación y desplazamiento.
2. El tamaño de la hélice debe tener en consideración tanto la obstrucción de las aspas por el crecimiento de las especies vegetales como el volumen de viento que debe recolectar.
3. La ubicación y dirección de la hélice son relevantes en la distribución del peso y espacio disponible para el crecimiento de las plantas. Sistemas horizontales, de hélice frontal, presentan problemas con el exceso de área utilizada, sumado al hecho que no son capaces de recolectar el viento proveniente de direcciones distintas a las caras frontales de la hélice. En este sentido, surge la posibilidad de utilizar sistemas eólicos verticales.
4. Debido a la complejidad del modelo se decidió prototipar solo dos aletas, pero el modelo final debería tener al menos 4, aprovechando así el espacio que entrega el toroide.



**Imágenes página 113:**  
Distintas fotografías  
del prototipo realizado.  
[Fotografías de autoría  
del alumno] →

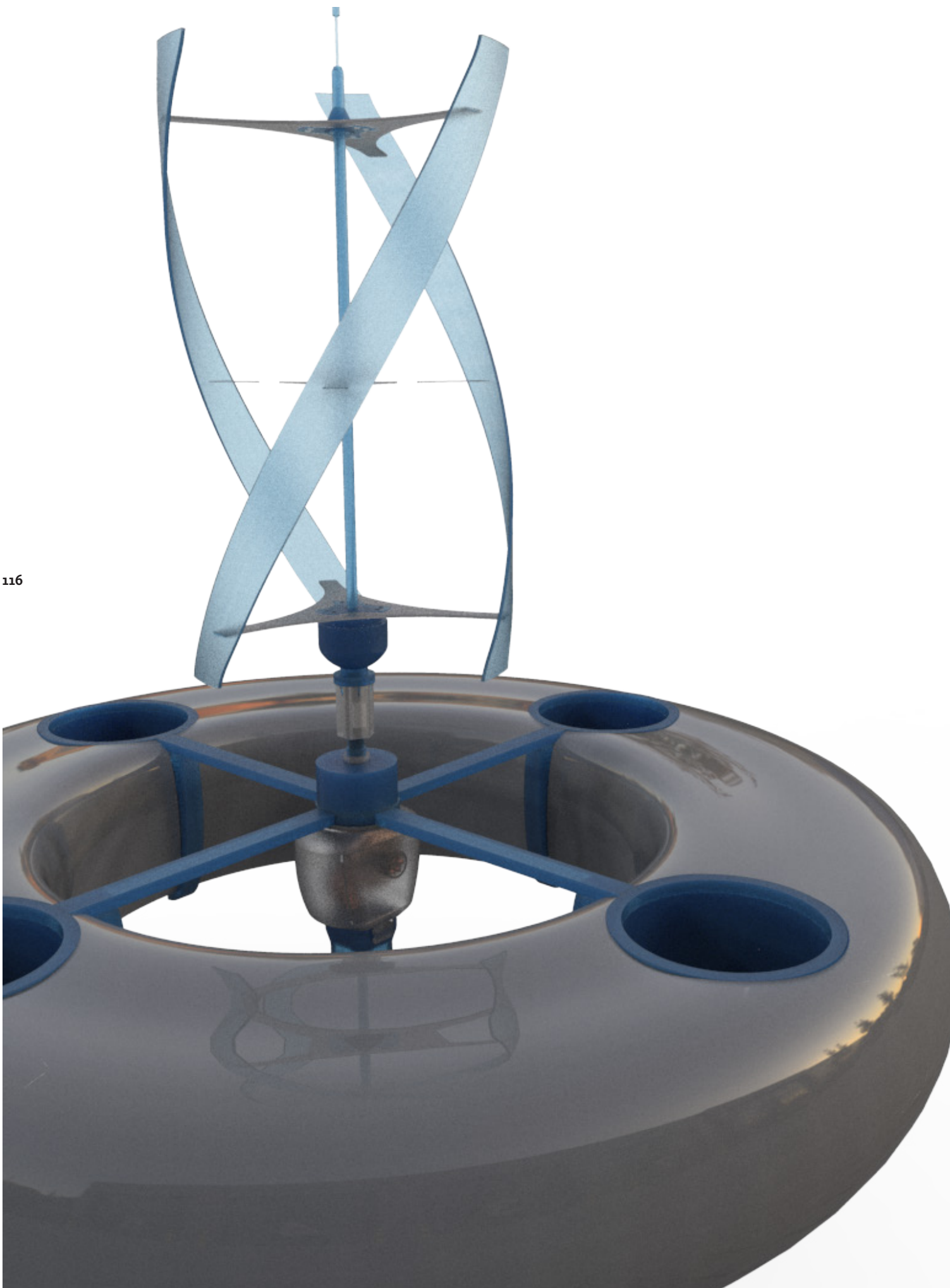
## CAPÍTULO 10.

115

"The machines, having long studied man's simple protein based bodies, dispensed great misery on the human race. Victorious, the machines now turned to the vanquished. Applying what they had learned about their enemy, the machines turned to an alternate and readily available power supply, the bioelectric, thermal, and kinetic energies of the human body."

**"Las máquinas, habiendo estudiado por largo tiempo los cuerpos basados en proteínas simples del hombre, dispensaron gran miseria sobre la raza humana. Victoriosas, las máquinas se tornaron hacia los vencidos. Aplicando lo que habían aprendido acerca de su enemigo, las máquinas recurrieron a una fuente de poder alternativa y de alta disponibilidad: las energías bioeléctrica, térmica y cinética del cuerpo humano."**

Second Renaissance, The Animatrix.



← Imágen página 116: Render de la propuesta final. [confección personal]

## Desde la evolución natural a la producción de nuevas especies

Propuesta final - Shelley Mark XVI

La constante e insospechada variabilidad de los organismos que nos rodean, a diferencia de los que habitan espacios naturales, no parece sorprender a ecologistas o naturalistas. Sin lugar a dudas existen más tipos de perros que lobos. Más razas de gallinas, que tipos de flamencos.

Si bien las condicionantes que explican este fenómeno son múltiples, hay dos factores de interés a considerar: la naturaleza del organismo y la naturaleza de las condiciones de vida.

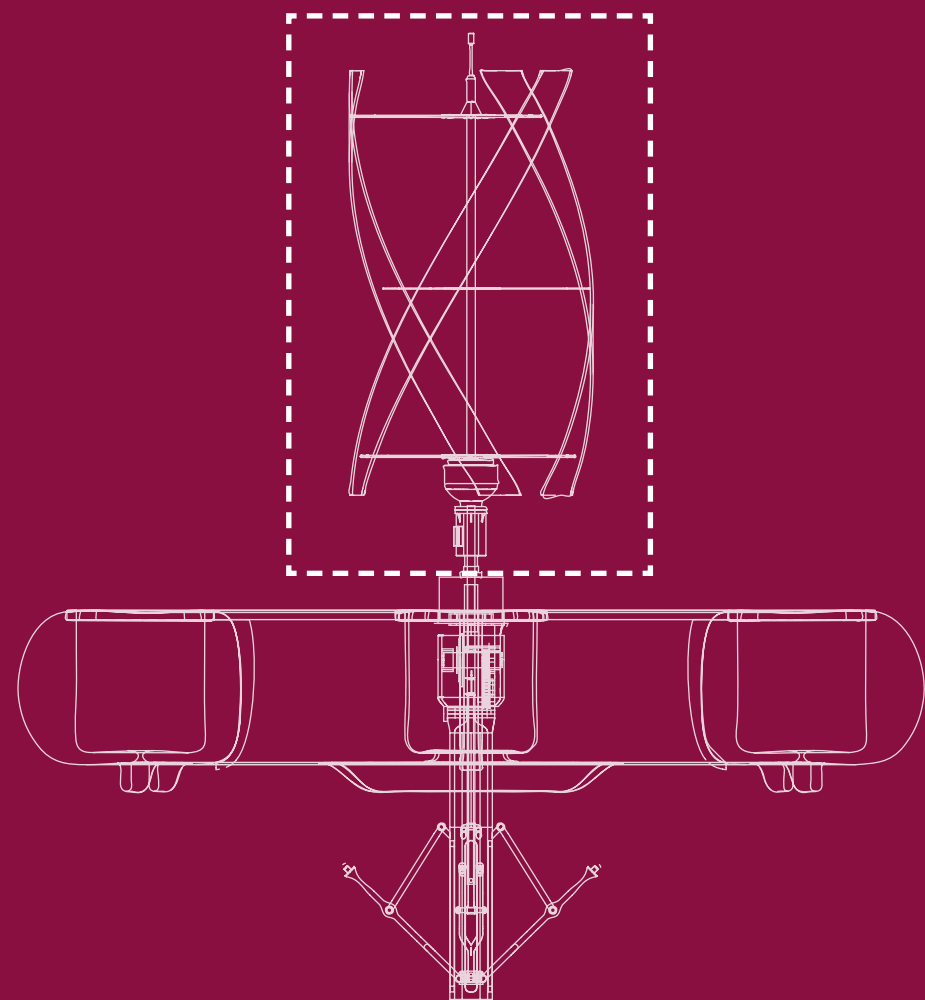
La variación en una especie será inducida cuando un número considerable de descendientes de individuos sometidos a ciertas condiciones, durante varias generaciones, son modificados de la misma forma. Esta capacidad de seleccionar y "producir" nuevas especies teniendo como fin la obtención de una cualidad determinada, ha sido la clave en la diversidad de seres para el consumo humano. En este caso, la búsqueda de una nueva forma de relación simbiótica ha transcurrido, primero desde conjeturas sobre beneficios mutuos, para luego retomar una perspectiva operativa que ha intentado, desde el ensayo y error, precipitar cualidades emergentes por medio de las relaciones entre las partes de este simbiote.

En este proceso de hibridación se tuvo como objetivo principal, proveer de la capacidad para oxigenar y purificar el agua de forma autónoma. En esta evolución, las decisiones de etología y morfología respondieron a la predicción de su comportamiento y desempeño futuro, asumiendo que existen variables que deben ser contrastadas con su evolución en el tiempo, y bajo condiciones extremas de ecosistemas.

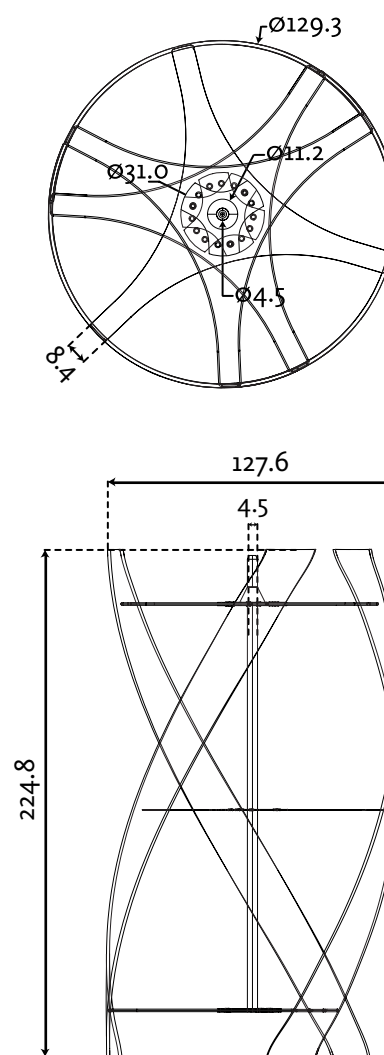
En este sentido la forma de Shelley Mark XVI es el resultado acumulativo de sus predecesores. Su fisiología consta de [1] un corazón que provee energía desde un captador eólico; [2] un cuerpo toroidal ahuecado que le brinda flotabilidad y soporte a las especies vegetales que lo componen; [3] un sistema propulsor que transforma la energía eólica en movimiento lineal; [4] extremidades que generan el movimiento constante de las [5] membranas que nutren e irrigan las plantas, además de oxigenar el agua desde su agitación.

A continuación se describe en detalle las partes y los componentes de cada uno de ellas.

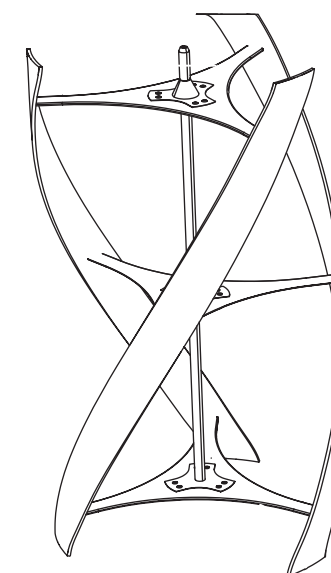
## 10.1 Componentes



### 10.1.1 CORAZÓN



El corazón es el órgano principal del sistema circulatorio; es aquel que irriga todos músculos del cuerpo y permite la oxigenación de las células de todos los rincones del organismo. Se trata de una bomba que permite la generación de vida como la conocemos. De la misma forma, Shelley Mark XVI cuenta con una bomba de energía que potencia e irriga poder al resto del mecanismo: una hélice que al girar activa el sistema motor, el que mueve las extremidades poniendo en marcha la oscilación de las membranas. Uno de los principales problemas de Shelley XV, fue el tipo de hélice elegida, principalmente por su tamaño y el posible, y muy probable, engancho y choque con las plantas del sistema. Es por esto que se buscan opciones en cuanto a la obtención del viento y se escogen estratégicamente las hélices verticales, sistemas que giran sobre

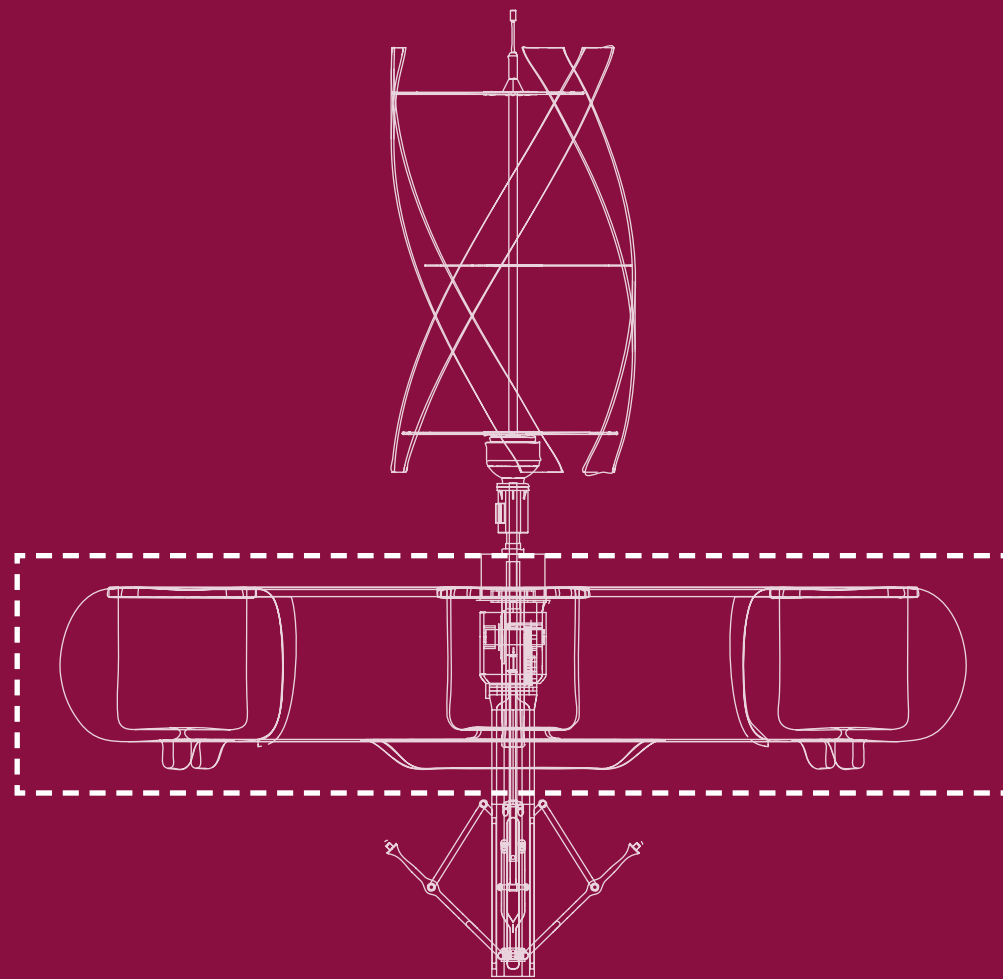


**Requerimientos de material:** En cuanto a la hélice, sabemos que ésta se encontrará muy próxima al agua, seguramente se ubicará a la intemperie, y deberá resistir el golpe constante del viento contra sus aspas. En este sentido, el material a utilizar debe ser resistente al agua, a la radiación UV y deberá tener una rigidez para generar un buen giro de la pieza. Se propone ABS o similar con protección UV.

el eje vertical. Entre ellas existen principalmente dos tipos: Savonius y Darrieus. Para fines de este proyecto se escogió la última. Algunas de las ventajas que tienen estas hélices sobre las demás, guardan relación con que no necesitan de una orientación específica en cuanto al viento para poder girar, resisten mejor a los vientos fuertes y no necesitan de una torre de estructura muy poderosa para que funcionen ya que pueden funcionar incluso cerca del suelo, a diferencia de las llamadas hélices horizontales.

↑ Unidades de las planimetrías: milímetros (mm).

## 10.1 Componentes

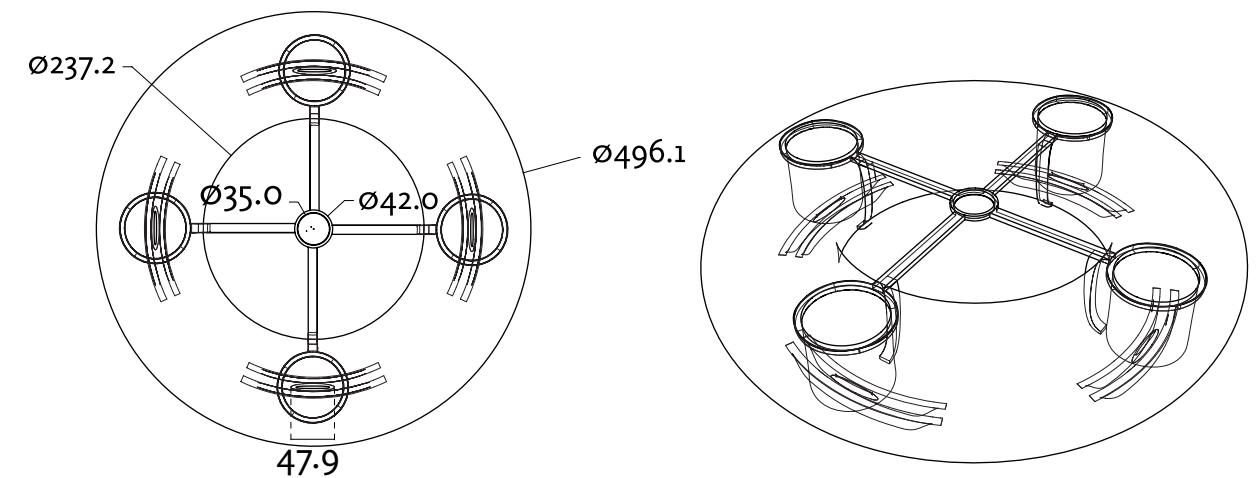


### 10.1.2

#### CUERPO

No existe en la naturaleza un único tipo de fisiología transversal a todas las especies. Esto se explica debido a que no todos los organismos necesitan responder a los mismos estímulos e interactuar con los mismos hábitats. Es claro que tanto la forma, como el pelaje de los cuerpos de los organismos están pensados para responder a las necesidades de cada especie y éstas pueden ir cambiando a medida éstas se modifiquen. El cuerpo de Shelley Mark XVI, está pensado para poder flotar sobre el agua, por lo que contiene una gran masa de aire en su interior además de servir de soporte flotador para los organismos vegetales, que a pesar de necesitar altas cantidades de agua mantienen su sustrato separado del recurso hídrico.

celulosa al sistema. Se ingresa el biofilm por el espacio ya descrito y, como se vio en versiones anteriores, se cruza un tope que impedirá que éste se desprenda. Las protuberancias que se ven en la fotografía también ayudan al correcto posicionamiento de la nanocelulosa. El borde de cada uno de los 4 orificios, es de una materialidad distinta, los que demarcan el espacio y también funcionan como conector para el sistema mecánico de la propuesta. Desde cada uno estos 4 orificios se extienden brazos de material que convergen en el centro para recibir el mecanismo motor de la propuesta. Poseen además unas especies de brazos en "C" que recuerdan versiones anteriores y ayudan a la triangulación y correcta distribución del peso que recibirán.

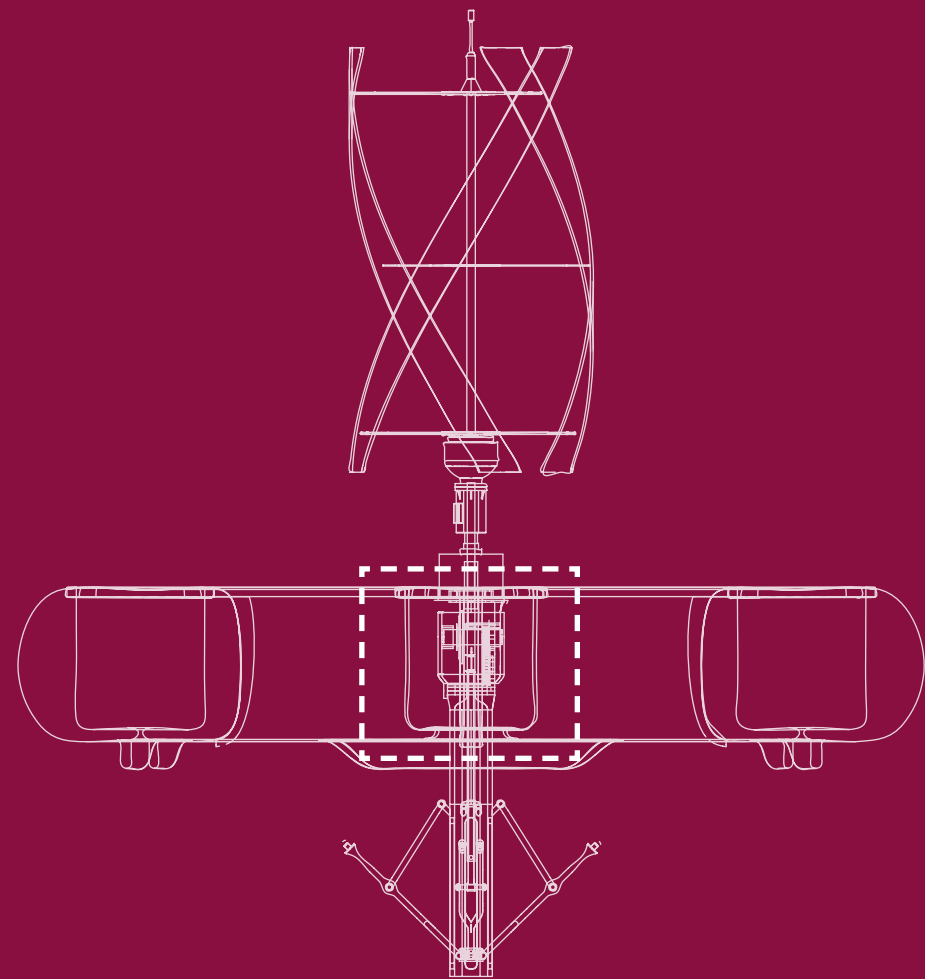


En esta última propuesta se mantiene la figura toroidal como soporte de los organismo vegetales pero se nivela tanto la parte superior como la inferior para generar un mejor equilibrio sobre el agua y favorecer el espacio que se utiliza para la ubicación de las plantas. En Shelley XV la superficie toroidal era demasiado redondeada lo que hacía que se perdiera espacio y que el disponible para los vegetales fuera muy pequeño, además de irregular. En esta versión existen 4 espacios marcados para cada una de las plantas los que desembocan en una cámara que conecta el interior de la superficie de flotación con el exterior gracias a una ranura. Esta última permite el enganche de las tentáculos de nano-

**Requerimientos de material:** El cuerpo de Shelley, debe estar formado por un material resistente al agua, a la radiación UV, que flote y que sea lo suficientemente firme para sostener el sustrato de las plantas. En este sentido, y debido a sus funciones, se propone la utilización de LDPE, poliestireno de baja densidad o similar también con una capa de protección UV dado el lugar en que se emplazará. La versión de alta densidad de este material también funciona, pero no es necesario dadas las leves fuerzas que debe soportar esta pieza.

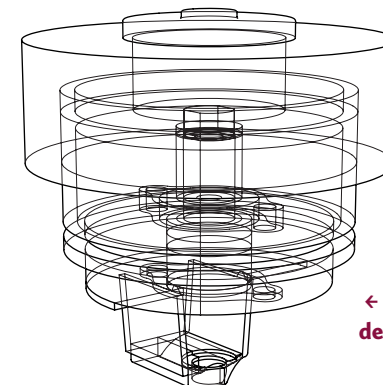
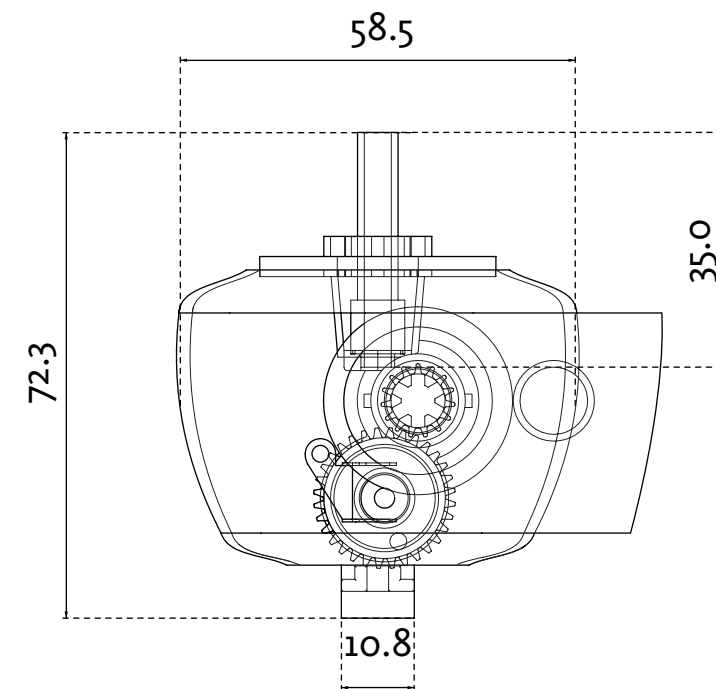
↑Unidades de las planimetrías: milímetros (mm).

## 10.1 Componentes



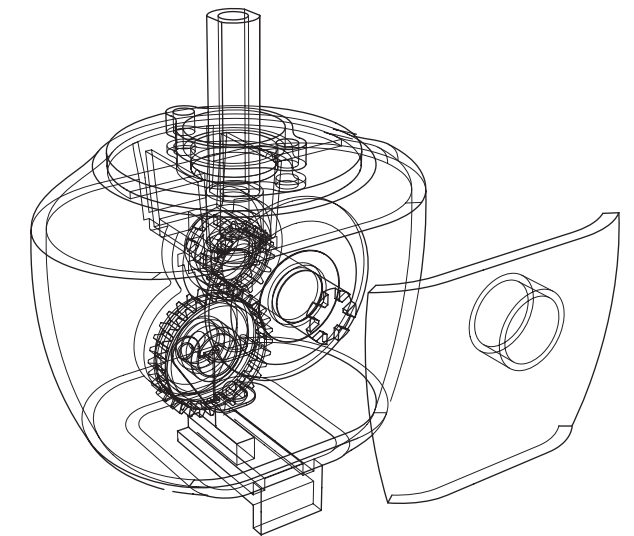
### 10.1.2 SISTEMA MOTRIZ

↓ Unidades de las planimetrías: milímetros (mm).



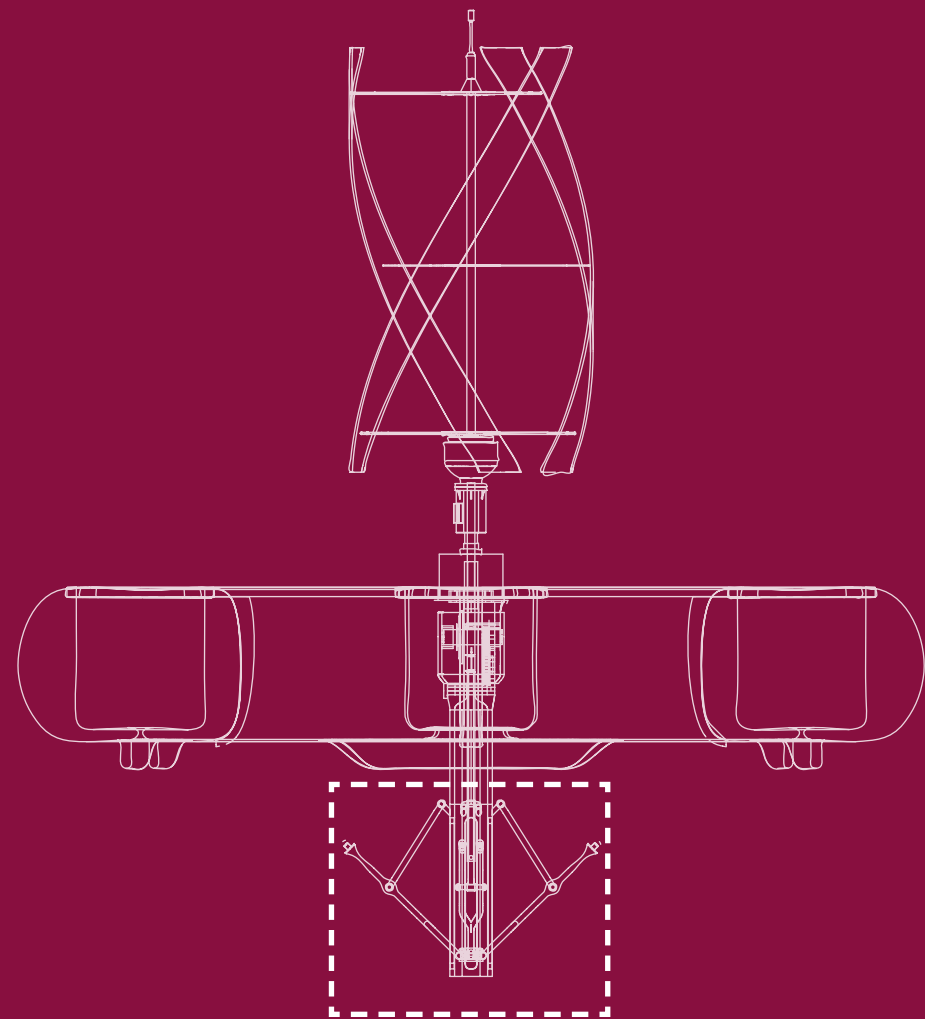
← Pieza de unión del cuerpo con la hélice-

La energía que ingresa al sistema debe ser transformada en movimiento y transmitida al resto de los componentes de otro modo se perderá; este trabajo lo realiza el sistema motriz. A diferencia de Shelley XV, esta propuesta no utiliza un mecanismo derivado de la lógica de los trenes a vapor; sino que se decide utilizar otro tipo de mecanismo que se consideró durante el proceso: el sistema del carrete de pesca. Las cañas de pescar, utilizan un sistema peculiar, ya que al momento de enrollar el hilo en el carrete necesitan que éste gire, pero que también suba y baje para que el hilo se enrolle homogéneamente a lo largo de todo el espacio disponible. En este caso el pescador gira el sistema desde el lado gracias a una manivela y éste, debido a un conjunto de engranajes, gira, y al mismo tiempo sube y baja.



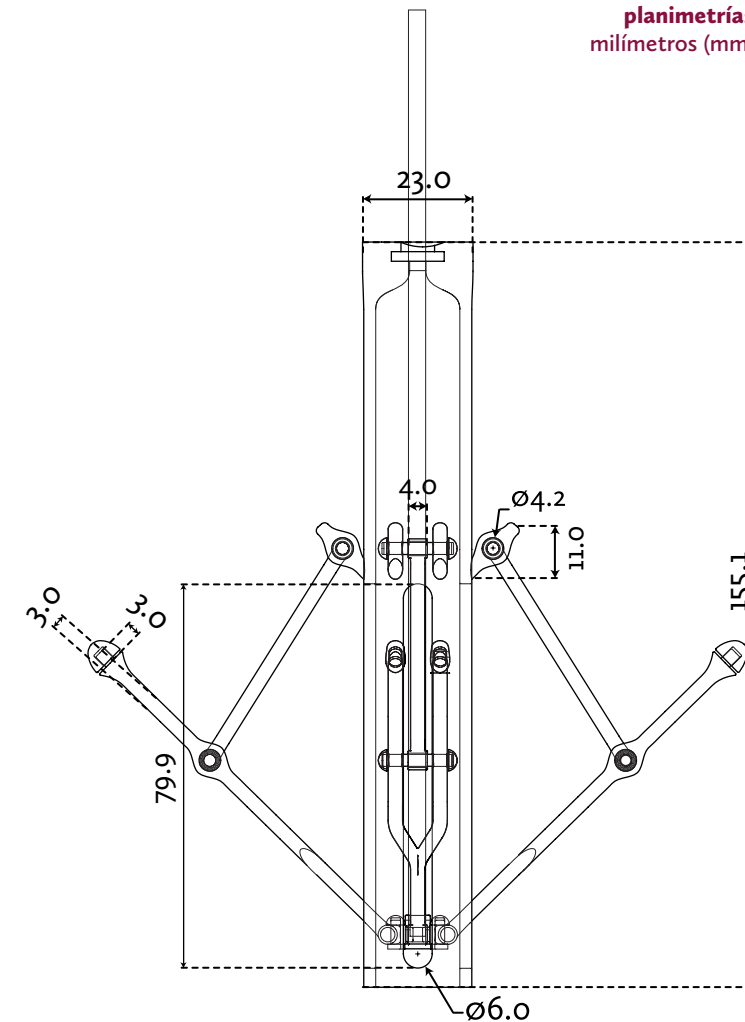
En base al funcionamiento de este sistema aplicado en Shelley XVI, es claro que la manivela activadora no es necesaria y solamente agregaría complejidad y partes innecesarias al sistema; es por esto que se decide trabajar únicamente con el mecanismo de giro y elevación del carrete, es decir, si se logra generar el giro se producirá el movimiento longitudinal. En este sentido, el funcionamiento de una hélice vertical puede encargarse del giro del carrete y de esta manera activar el sistema para que suba y baje.

## 10.1 Componentes



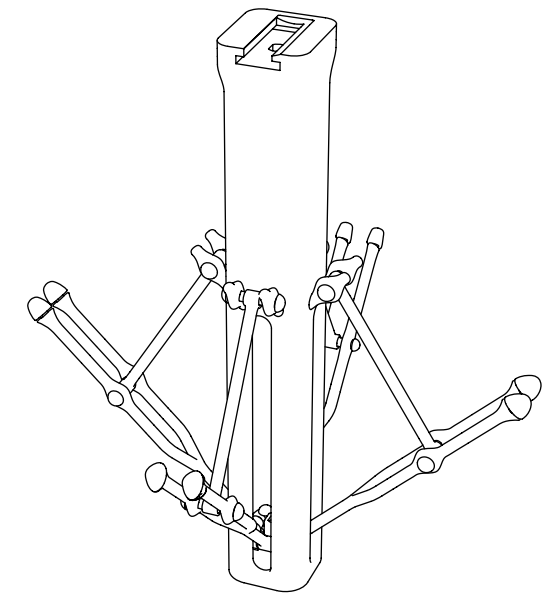
### 10.1.3 EXTREMIDADES

↓ Unidades de las planimetrías: milímetros (mm).



**Requerimientos de material:** Las extremidades de Shelley, no solo se encontrarán dentro del agua, sino que también requieren de un grado de precisión específico. El PP (polipropileno) o similar con protección UV, podría resistir las inclemencias del agua y la radiación además de posibilitar la creación de piezas pequeñas y precisas.

Las extremidades son aquellas partes articuladas del organismo que cumplen funciones de locomoción. En este caso las extremidades se mueven y permiten la oscilación de la membrana de nanocelulosa y por ende también la oxigenación del medio. Shelley XVI, utiliza al igual que muchos de sus predecesores un pistón que, activado por el movimiento giratorio de la hélice, se encarga de subir y bajar. Esta pieza tiene una longitud de 155 mm y se conecta tanto con los engranajes en la parte superior del sistema motor, como con los pivotes que movilizan el biofilm de nanocelulosa en la sección inferior del mecanismo. En esta última fracción del sistema, el pistón transita su camino por dentro de

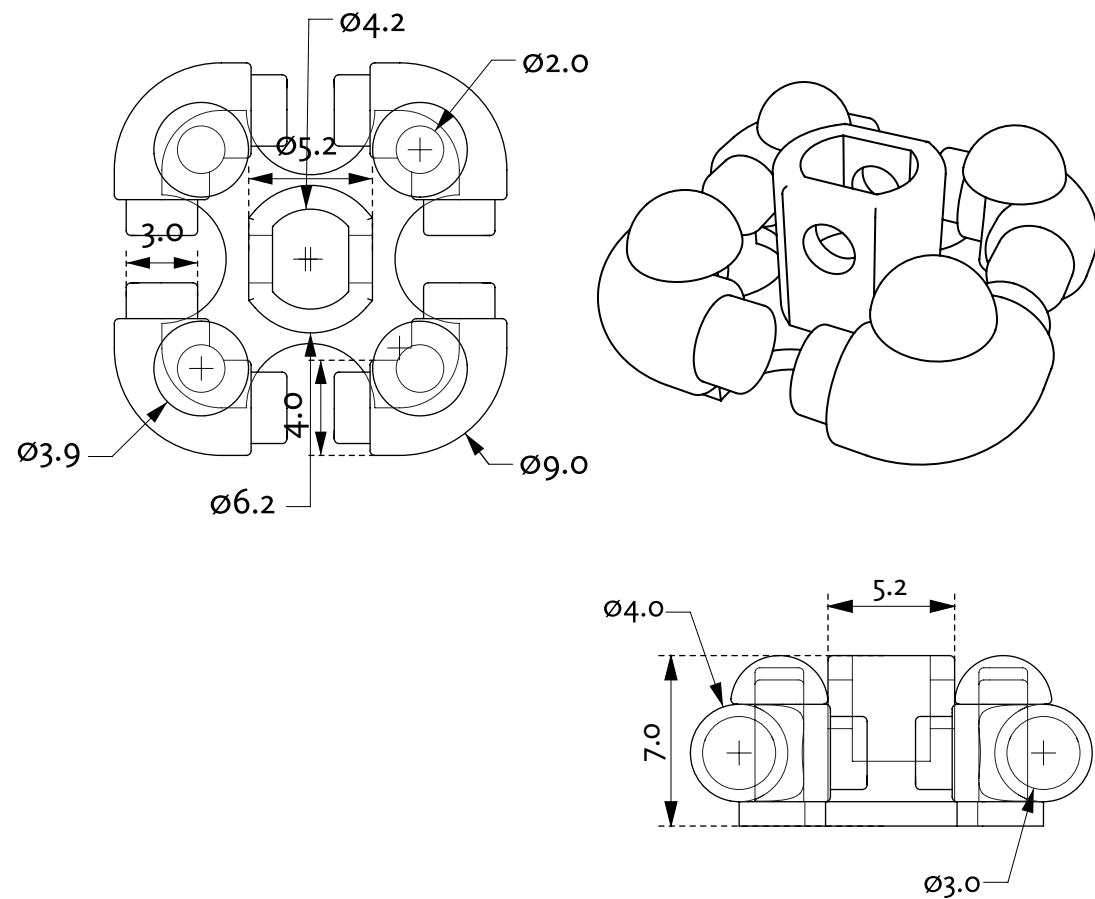


una pieza que funciona como "guía" de su recorrido. Ésta se trata de un paralelepípedo que se engancha al sistema motor gracias a un encaje en su extremo superior. Sumado a esto posee 4 calados, uno en cada una de sus caras, en la mitad inferior de su altura. Éstos permiten la conexión del pistón a las aletas de nanocelulosa. Además, sobre los calados posee 4 enganches que permiten la unión y apoyo de los brazos del mecanismo.

### 10.1.3 EXTREMIDADES

↓ Unidades de las planimetrías: milímetros (mm).

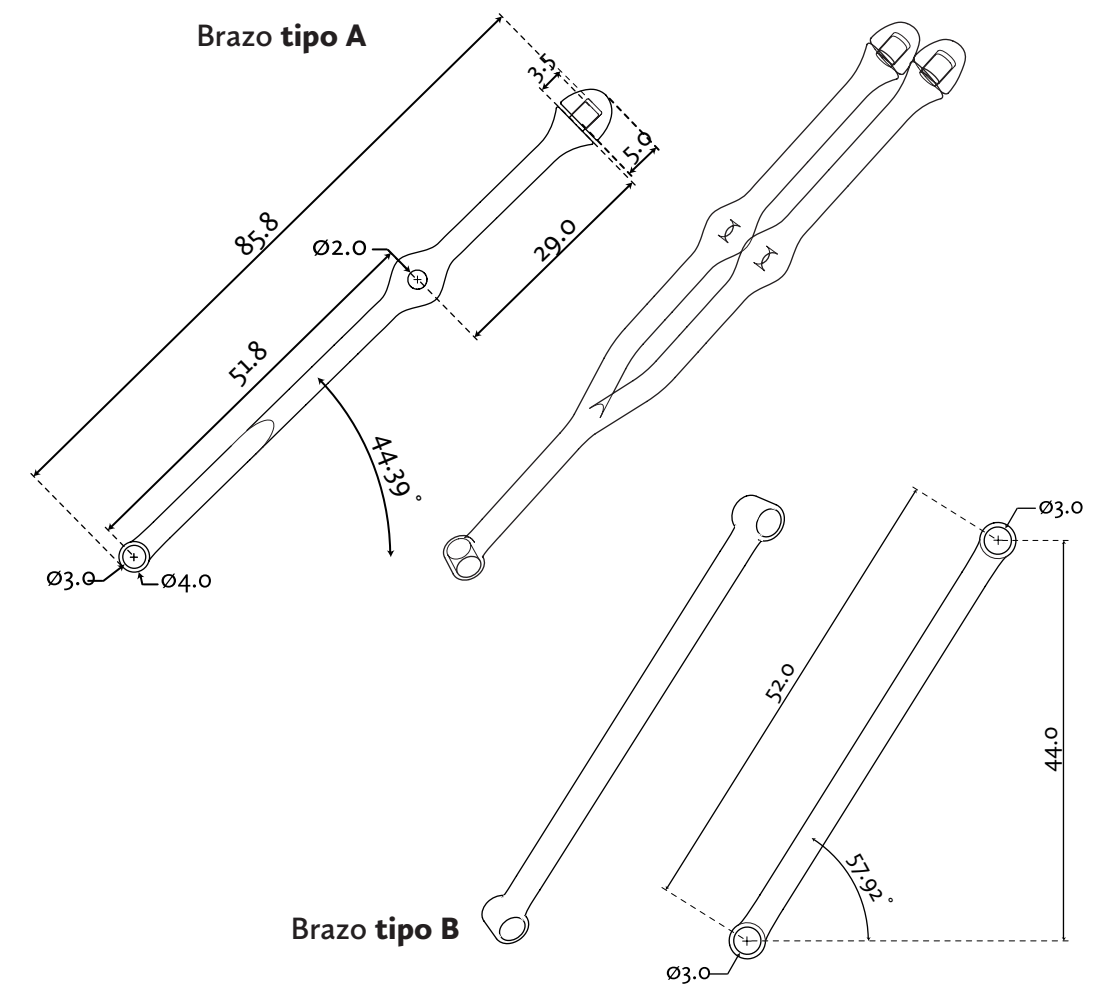
Dentro de este "ducto guía" el pistón se enlaza con la "base" que posibilita la unión del movimiento longitudinal con los brazos estimuladores de las aletas. El émbolo se ingresa en el orificio de la pieza "base" y es atravesado por una pieza que asegura su enganche. Sumado a esto, a este fragmento se le unen 4 enganches que permiten el enlace de los brazos y su libre movimiento en el eje. La sección de enganche se ubica enfrentando a los calados del ducto guía; de esta manera los brazos pueden conectarse tanto con el biofilm como al pistón.



### 10.1.3 EXTREMIDADES

↓ Unidades de las planimetrías: milímetros (mm).

En cuanto a los brazos, existen dos tipos. Los primeros (tipo A) son los que se enlazan directamente al pistón. Éstos poseen, en primer lugar, un orificio en su parte inferior gracias al cual logran el enganche con la pieza "base" y por tanto con el pistón. En segundo lugar, en su parte media, el brazo se bifurca y posee también una abertura que posibilita la unión con el segundo tipo de brazos (tipo B). En su extremo superior, el brazo A termina en una especie de pilar que atraviesa la nanocelulosa y se asegura con una tapa. Por otro lado, los brazos B, son más simples, y poseen orificios en ambos extremos. De esta manera pueden unirse al ducto guía en un extremo y a los brazos A en el otro.





### 10.1.3 MEMBRANAS

Las membranas son tejidos de material orgánico que generalmente recubren a un órgano, permitiendo la comunicación de éste con su ambiente dependiendo de las características del tejido mismo. En este caso, la membrana a utilizar, es el biofilm de nanocelulosa generada por la bacteria acetobacter aceti, el que comunica a los organismos vegetales con el medio acuoso y al mismo tiempo moviliza el medio. Como se mencionó anteriormente, el film se ingresa por la parte inferior del toroide (fotografía inferior) y se fija a él gracias a un tope. La aleta debe ser idealmente de 14 cm de largo y 4,5 cm de ancho. Ésta se conecta con los brazos tipo A posibilitando la influencia de las extremidades sobre la membrana para el flujo y oxigenación del medio.



### 10.1.3 ORGANISMO VEGETAL

Como se menciona en el capítulo 8 el tipo de organismo vegetal a utilizar, debe cumplir ciertos requisitos: sistemas radiculares poco invasivos, poseer un crecimiento idealmente rastrero y consumir gran cantidad de agua. Bajo estas condiciones se decide utilizar Nasturtium Officinale, comúnmente conocido como "berro". Este organismo posee, en primer lugar, un crecimiento rastrero; es por esto que es común encontrarlas a las orillas de ríos y fuentes hídricas generando una especie de "manto vegetal". Además sus raíces son blancas y finas y al mismo tiempo se trata de una planta subacuática que "necesita de cierto nivel de inundación de agua dulce para desarrollarse" ("Berro", (s.f.), párr. 2).

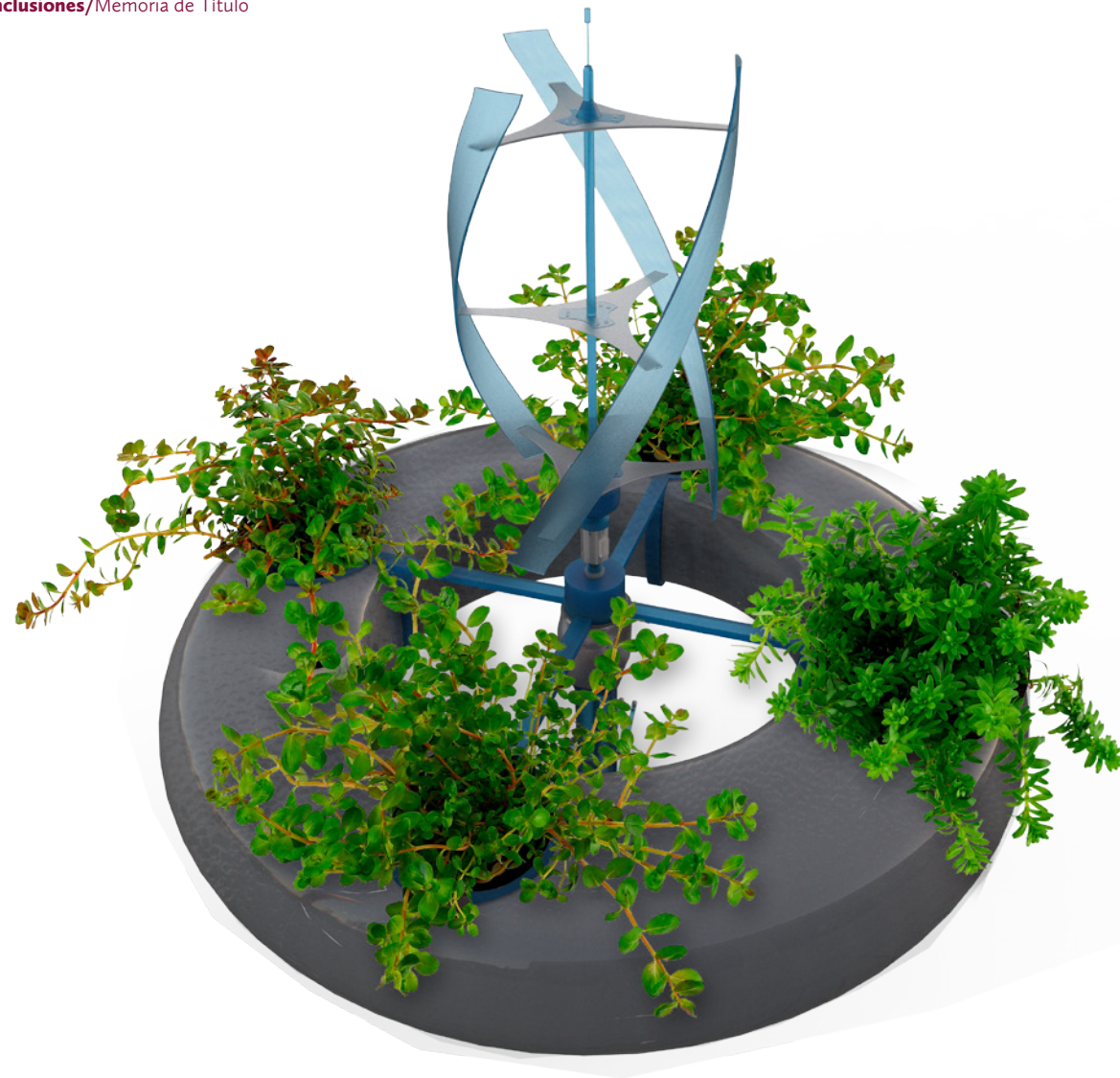
La propuesta visualiza la utilización del nasturtium officinale terminando por obtener una capa vegetal que crece hacia afuera del soporte toroidal y que esconde su cimiento otorgándole a la propuesta un carácter de organismo vivo más que robótico.

← Imágen inferior izquierda, página 128: Detalle del enganche de nanocelulosa. [Render de autoría del alumno]

← Imágen superior derecha, página 128: Croquis de un posible proyección del proyecto. [Confección personal]

Imágen, página 129: Ilustración berro. (<http://terranobis.blogspot.cl/>)



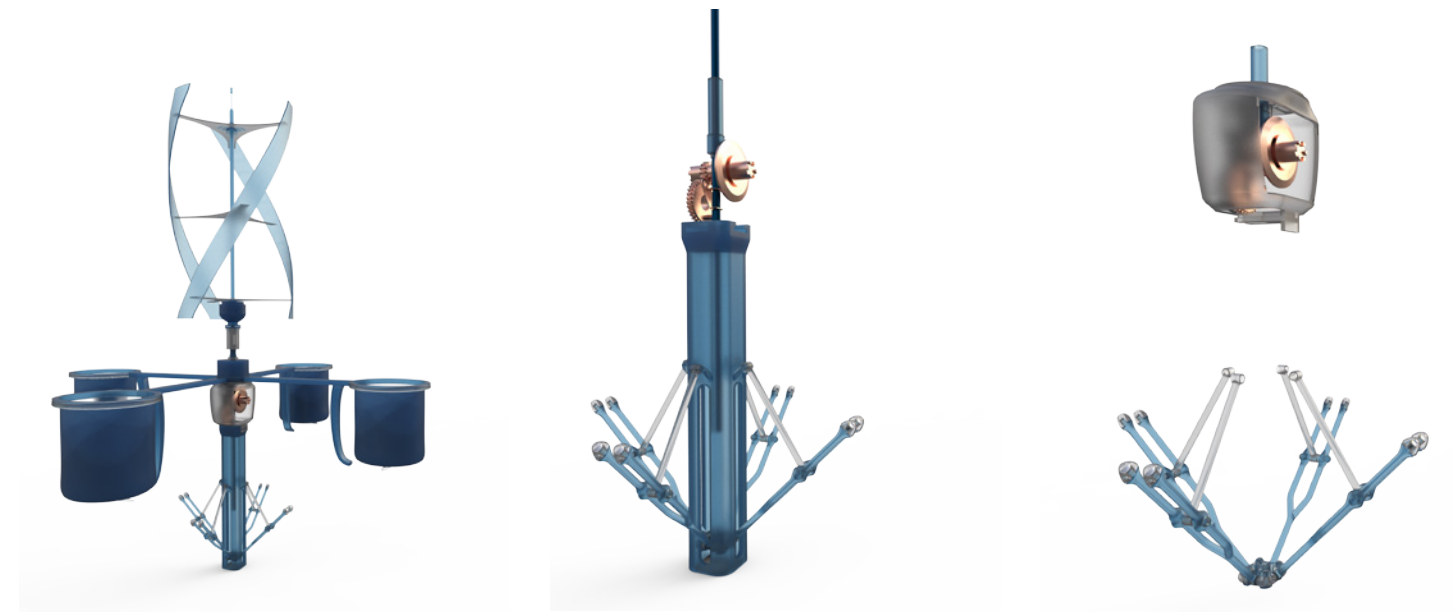


130

### Conclusiones de la propuesta:

En cuanto a Shelley, éste cumple con las consideraciones iniciales de generar un soft robot o robot blando. Con respecto al carácter robótico y tal como se menciona en un comienzo, un robot es considerado una máquina que puede sentir el ambiente, realizar una acción y poseer un grado de inteligencia. En el caso de Shelley estas características no son necesariamente claras a primera vista. Es fácil entender la acción que realiza, dado el movimiento del mecanismo, pero ¿qué pasa con el resto de los requerimientos? Los atributos restantes no son piezas sintéticas diseñadas con esos fines sino que surgen gracias a la utilización de organismos vegetales y por tanto vivos. Se sabe que las plantas se inclinan en búsqueda de la energía solar, comportamiento que, en este caso, replicarán los *Nasturtium Officinale*. De esta manera, la tendencia a crecer hacia cierto lugar tendrá una influencia sobre el movimiento del robot, pudiendo llegar incluso a generar

un giro sobre sí mismo dada la diferencia de pesos. En este sentido Shelley tiene incorporado sensores biológicos que guiarán su movimiento, crecimiento e interacción con el medio. Por otro lado, y en relación a la inteligencia del sistema, puede estar dada por el comportamiento emergente a surgir dada la interacción con su entorno. En el caso de que dos ejemplares de Shelley terminaran por quedar unidos debido a las ramificaciones de sus componentes vegetales, éstos comenzarían a moverse como un conjunto, como uno solo. Esta unión modificaría su comportamiento; es probable que este enlace pueda otorgarle más estabilidad al sistema, convirtiéndose en uno más inteligente sin haber sido “programado” así en un principio. Tal como una colonia de hormigas, en base a comportamientos simples, un conjunto puede generar inteligencia que surge gracias a la interrelación entre partes. Como este ejemplo, pueden surgir comportamientos distintos que conviertan a Shelley en un sistema emergente.



131

← Imágen página 130: Render de la propuesta final. [confección personal]

↑ Imágenes página 131: Renders de las partes de la propuesta final. [confección personal]

En cuanto a la capacidad blanda de esta máquina, cabe mencionar que al igual que muchas de las iniciativas en Soft robotics, este proyecto no considera un robot completamente blando, tanto por temas de tiempo como de acceso a procesos y tecnologías avanzadas. Al igual que Stickybot, Shelley utiliza el material blando para darle un nuevo set de características y funciones a las extremidades, que están hechas de este material. En este caso las aletas no sólo funcionan como un material blando, sino que le otorgan capilaridad al sistema y le entregan un uso práctico a un material que existe en la naturaleza y es por tanto biodegradable.

A fin de cuentas Shelley es un espécimen híbrido que mezcla lo sintético con lo natural capaz de realizar las acciones que se proyectaron: [1] independencia energética que nutra un [2] sistema de extremidades conectadas a [3] membranas de biofilm que por medio de capilaridad

irrigan plantas ubicadas en [4] una estructura flotante que además de mantener el dispositivo sobre el agua, logra que las especies vegetales, sean capaces de purificar los nutrientes que se generan en aguas estancadas o con carga biológica (peces y otros animales).

Lo que distingue a Shelley de otros proyectos son las variaciones de comportamiento y de efectos que puede tener el tiempo; Shelley se trata de un organismo vivo que como tal interactuará con su entorno en base a sus necesidades y requerimientos, y es este comportamiento el que no se puede predecir. Es por esto que este proyecto tiene un largo camino de vida para que se hagan visibles las evoluciones que de él surirán.

"A newly refashioned symbiotic relationship between the two adversaries was born. The machine, drawing power from the human body, an endlessly multiplying infinitely renewable energy source. This is the very essence of the second renaissance. Bless all forms of intelligence."

**"Nace así una nueva relación simbiótica, recientemente remodelada, entre los dos adversarios. Una en la que las máquinas extraen energía del cuerpo humano, una fuente de energía infinitamente renovable. Esta es la verdadera esencia del segundo renacimiento. Sean bendecidas todas las formas de inteligencia."**

Second Renaissance, The Animatrix.

Daniela Rojas

## Evolución vs simbiogénesis

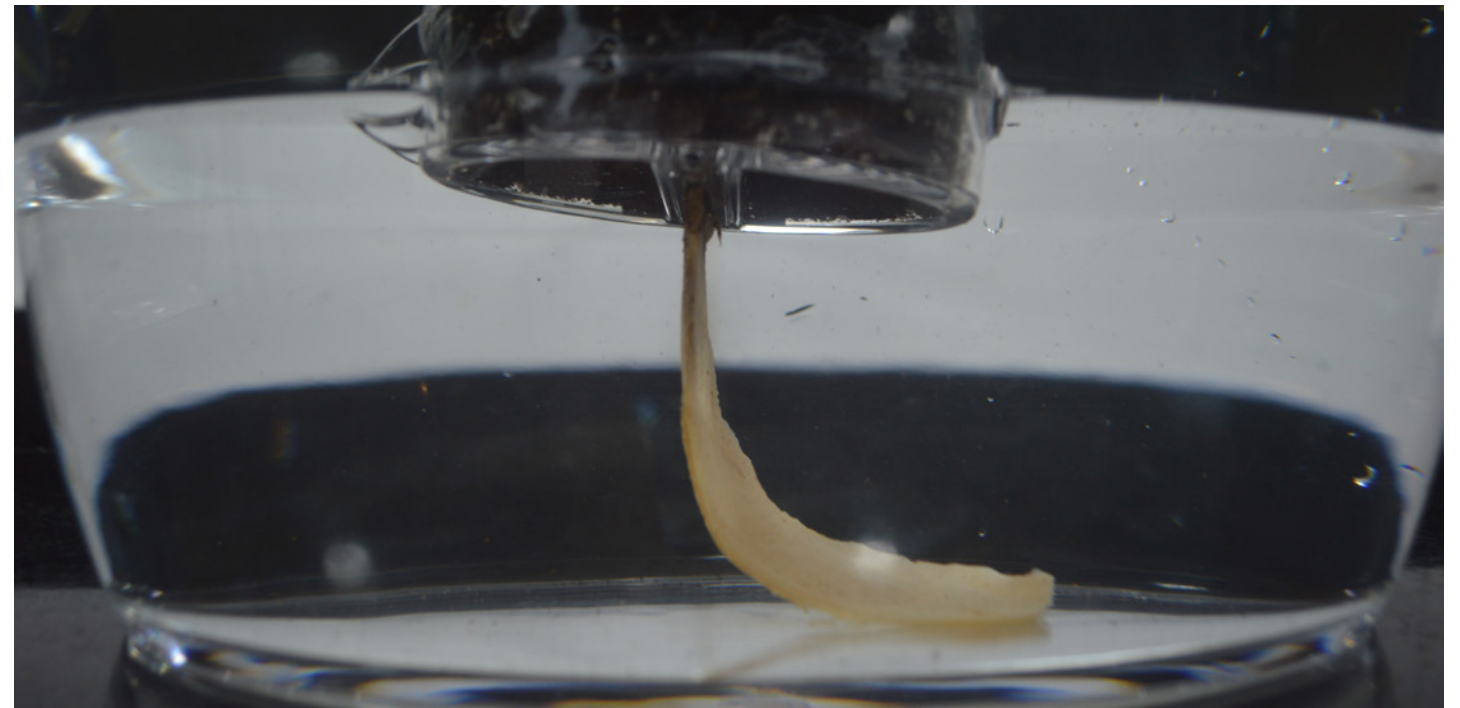
Existe una importante distancia en cuanto a la evolución y la generación de las especies. En el primer caso, las características de una especie particular cambian en el tiempo debido a la interacción de ésta con el ambiente que la rodea. En este respecto Darwin, el destacable científico naturalista inglés, puntualiza que la evolución biológica es una suerte de descendencia con modificación donde las especies se transforman en el tiempo y generan nuevas “familias” con un ancestro común. En este sentido, es la mutación genética aleatoria la que decide el gen que se replica y la interacción con el medio lo que permite su paso hacia las siguientes generaciones dada la selección natural. Pero existe otro caso, donde el gen es elegido a conciencia para lograr un fin específico; un nuevo método evolutivo que se ha desarrollado con fuerza y es el responsable de la mayor cantidad de diversidad genética hoy en día: la evolución asistida. Este mecanismo se basa en la premisa de reproducir genéticamente un gen beneficioso que se perpetúa hacia las futuras generaciones. De esta manera, tenemos organismos vegetales que producen frutas más grandes y apetitosas, o animales que producen más leche, entre otros ejemplos. La evolución asistida es la responsable de la inmensa variedad de especies domésticas que existen en comparación con aquellas que se encuentran bajo las leyes de la naturaleza. Además, este sistema reduce significativamente el tiempo que le toma a la

evolución natural en transferir un gen a una generación posterior.

A diferencia de la evolución, la generación de una nueva especie presenta un fenómeno completamente distinto; uno que surge de la simbiogénesis, “término acuñado por Konstantin Merezhkovsky (1855-1921) para referirse a la formación de nuevos órganos y organismos mediante fusiones simbióticas.” (Margulis, 2002, Cap.: Individualidad por incorporación.) Es decir, la generación de nuevas especies que surgen a partir de una relación simbiótica, de codependencia profunda entre dos especies.

“La simbiogénesis describe procesos simbióticos, pero para que estos procesos puedan definirse como simbiogénicos, debe existir transferencia genética horizontal, y la eclosión de una nueva individualidad que integre a los simbioses: un conjunto de genes o el genoma completo de uno de los simbioses debe de pasar a formar parte del genoma del otro. El proceso implica transferencia genética, mediante la cual en el proceso evolutivo de ambas especies, una vez transferido los genes al huésped, los simbioses ya no requieren del material genético redundante; y al no existir presión selectiva por mantenerlos, estos genes se pierden en el simbiote (así, determinadas capacidades de uno de ellos desaparecen y son asumidas por el otro).” (Simbiogénesis, (s.f.), párr.6)

**Imagen página 135:** →  
Detalle del enganche de  
nanocelulosa. [Fotografía de  
autoría del alumno]

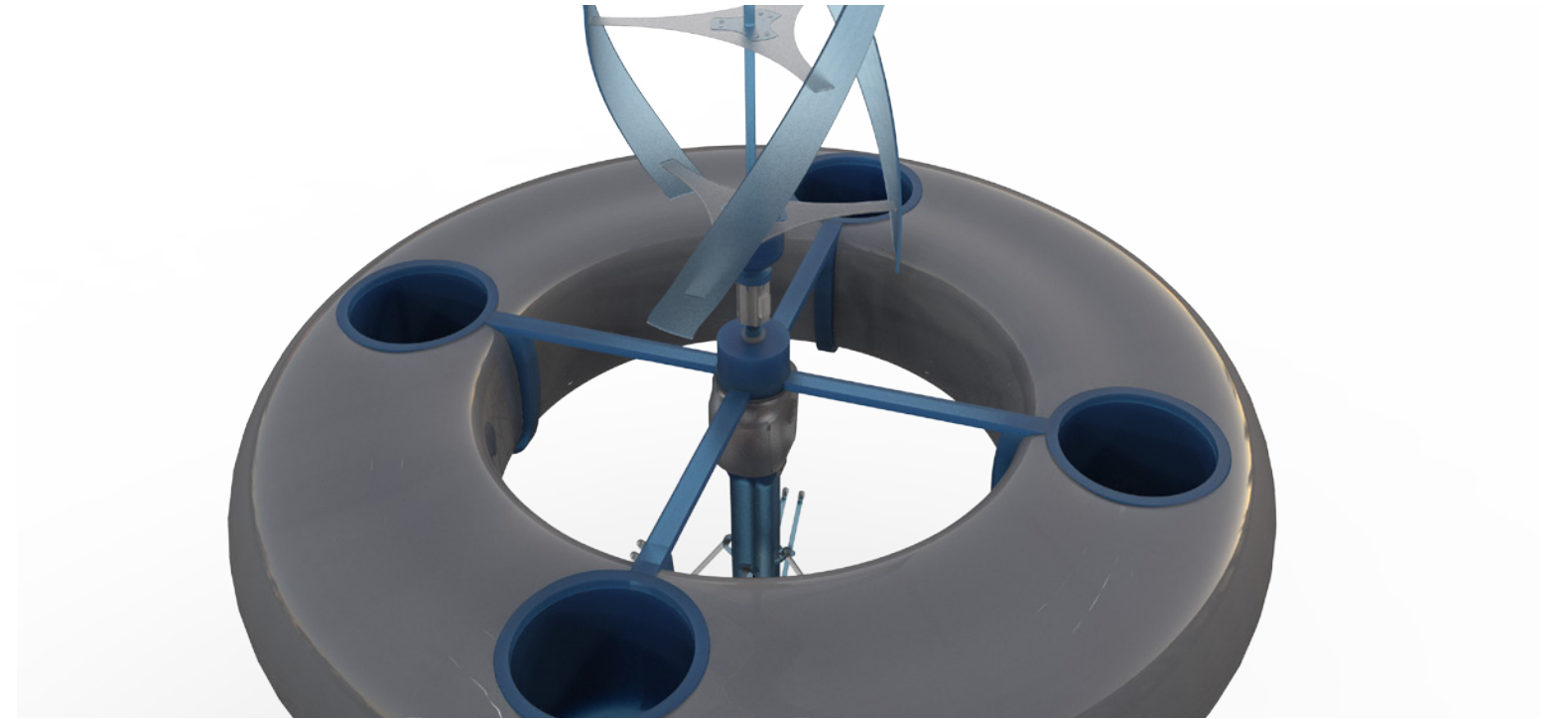


El proceso de la generación de una nueva especie a partir de simbiogénesis, toma una gran cantidad de tiempo y una enorme suma de iteraciones; tuvieron que pasar años de simbiosis entre alga y hongo, hasta llegar al punto de fusionarse formando un líquen. A diferencia de la evolución asistida, en que el gen se transmite casi inmediatamente, este caso hace uso extenso del tiempo. La razón de esta diferencia, no guarda relación con la complejidad del proceso sino con los resultados que éstos pueden producir.

La modificación genética de una cepa, produce la aparición de cierta característica en la siguiente generación de la “familia” vegetal; el

resultado es certero, sin espacios para ambigüedades. En contraposición, la simbiogénesis no posee esta certidumbre, sino que la complejidad está en lo azaroso de sus resultados; es imposible predecir con exactitud lo que puede llegar a ocurrir.

Esta dualidad se ve reflejada en los proyectos científicos, que nos presenta la literatura, del Dr. Frankenstein en comparación a los proyectos del Dr. Mureau. El primero genera un ser vivo a través de la unión de partes humanas individuales; el resultado, a pesar de ser considerado un monstruo, posee una fisiología humanoide dado su origen. A diferencia de esta



situación el Dr. Mureau toma un camino distinto, otorgándole características animales a seres humanos, generando así fusiones donde el resultado no es claro ni predecible. Shelley abarca un desafío parecido, el de unir organismos distintos (naturales y sintéticos) y explorar las posibilidades que los resultados pueden develar. Las iteraciones presentadas del proceso dan cuenta de la característica fundamental de la simbiogénesis y seguramente serán necesarias más de 16 iteraciones para producir una verdadera fusión natural-sintética. Al igual que el Dr. Mureau, este proyecto no presenta ninguna certeza en cuanto a sus resultados, sino que abre paso a la aparición de fenómenos impredecibles; es posible que exista un mecanismo más adecuado para el movimiento de las membranas, pero, al mismo tiempo, es posible que la variación de este componente genere un resultado negativo en cuanto al todo. Es posible que la interacción de distintas especies de Shelley, lleve a su enganche y movimiento conjunto, produciendo características y ventajas que no fueron proyectadas en un comienzo, pero es igual de probable que la interacción de éstas genere un resultado negativo, como por ejemplo la generación de un peso excesivo para los cuerpos para soportar. No hay forma de saber con seguridad qué ocurrirá; quizás las garzas, se apropien de Shelley como forma de beneficiar su caza, o acaso los pájaros se desharán de la hélice para generar

sus nidos; sólo la experimentación y el tiempo dirán, es decir, la generación de una inteligencia emergente dada la interacción de organismos vivos es un resultado posible pero que no puede ser rectificado con seguridad.

Cabe mencionar, en este respecto, que a diferencia de otros ámbitos, en la generación de especies los resultados no esperados, son igual de informativos y beneficiosos que los que sí se esperaba que ocurrieran. La interacción de la especie con el medio, no hace más que entregar información y reflejar los resultados un comportamiento que no se puede pronosticar ya que se está tratando con organismos vivos que no funcionan linealmente sino que se relacionan entre ellos produciendo constantemente simbiosis. Este último (simbiosis) está presente en nuestro diario vivir, aunque no seamos conscientes de ello; no sólo dependemos de microorganismos que no podemos ver, dependemos también de tantos otros elementos; el más reciente: la tecnología. Amber case, antropóloga ciborg, explica esto en su charla TED.

“el uso de herramientas en los principios, durante miles y miles de años, implicó una modificación física del ser. Nos ayudó a extender nuestro yo físico, a ir más rápido, a golpear cosas más fuerte, y eso tuvo un límite. Pero ahora lo que observamos no es una extensión física del yo sino una extensión del

**Imagen página 137:** → Render de la propuesta final. [confección personal]

yo mental. Y por eso es que podemos viajar más rápido y comunicarnos de manera diferente. Y la otra cosa que sucede es que todos llevamos a cuestas tecnologías del tipo Mary Poppins. Podemos agregarle lo que queramos y no por eso pesará más y luego podemos quitarle lo que sea. ¿Cómo es el interior de una computadora? Bueno, si lo imprimiésemos se vería como unos 450 kilos de material que van con nosotros todo el tiempo. Y si perdemos esa información eso implica que de repente se nos hace una laguna mental y sentimos de pronto como que algo falta pero no sabemos qué y entonces es una sensación extraña.” (Case, 2010 )

Generamos relaciones de codependencia sin siquiera darnos cuenta y con elementos tanto sintéticos como naturales que muchas veces no conocemos. En este sentido, interactuamos y creamos realidades y resultados inesperados, todo el tiempo, con todo lo que nos rodea; nos interrelacionamos entre nosotros y con las herramientas que creamos de una manera que no cuestionamos pero que no pudo ser predicha en su momento. Nuestro ser depende de la interacción y dependencia de otros, desde bacterias, hasta personas que no conocemos. De cierta forma todos estamos conectados y formamos un todo más grande, un todo que ve interactuar a sus componentes, un todo que no sabe

qué ocurrirá Somos parte de un macro-simbionte que se ve afectado por nuestra forma de interactuar y de comportarnos. ¿Quién puede predecir los resultados que aparecerán dada la interacción de este simbiote? ¿Cuánto tiempo tomará que se vean reflejados e interiorizados? Al igual que en el caso de Shelley, sólo el tiempo dirá.

## Bibliografía

» **Alan Turing.** (s.f.). Recuperado de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/t/turing.htm>

» **A self-organizing thousand-robot swarm.** (2014). Recuperado de <https://wyss.harvard.edu/a-self-organizing-thousand-robot-swarm/>

» **Awad, H., Díaz, R., Malek, R., Othman, N., Aziz, R. & El Enshasy, H.** (2011). Efficient Production Process for Food Grade Acetic Acid by *Acetobacter acetii* in Shake Flask and in Bioreactor Cultures. *E-Journal of Chemistry*, 9(4), 2275-2286. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/224818906\\_Efficient\\_Production\\_Process\\_for\\_Food\\_Grade\\_Acetic\\_Acid\\_by\\_Acetobacter\\_acetii\\_in\\_Shake\\_Flask\\_and\\_in\\_Bioreactor\\_Cultures](https://www.researchgate.net/publication/224818906_Efficient_Production_Process_for_Food_Grade_Acetic_Acid_by_Acetobacter_acetii_in_Shake_Flask_and_in_Bioreactor_Cultures)  
Bank of England: 15 million British jobs at risk from robots. (s.f.). Recuperado de <https://www.wired.co.uk/article/will-robots-take-your-job>

» **Berro.** (s.f.). Recuperado de [http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,543,m,2714&r=ReP-23470-DETALLE\\_REPORA-TAJESPADRE](http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,543,m,2714&r=ReP-23470-DETALLE_REPORA-TAJESPADRE)

» **Blevins, E., Lauder, G.** (2012) Rajiform locomotion: three-dimensional kinematics of the pectoral fin surface during swimming in the freshwater stingray *Potamotrygon orbignyi*. *The Journal of Experimental Biology*, 215, 3231-3241. <http://dx.doi.org/10.1242>

» **Case, A.** (Diciembre 2010). Ahora todos somos ciborgs. [Archivo de video]. Recuperado de [https://www.ted.com/talks/amber\\_case\\_we\\_are\\_all\\_cyborgs\\_now?language=es](https://www.ted.com/talks/amber_case_we_are_all_cyborgs_now?language=es)

» **Cómo hacer una piscina natural.** (s.f.). Recuperado de <https://www.urbanarbolismo.es/blog/como-hacer-una-piscina-natural/>

» **Correa, C.** (2013). Búsqueda de nuevos materiales: Biofilm de nanocelulosa. (Tesis de

pregrado). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

» **El pez payaso y su relación de mutualismo con las anémonas.** (s.f.). Recuperado de <http://www.fordivers.com/es/fauna/especie/pez-payaso/>

» **Feinberg, A.** (2015). *Biological Soft Robotics*, 17, 243-265. <http://dx.doi.org/10.1146>

» **Google's driverless car no steering wheel, two seats, 25mph.** (s.f.). Recuperado de <https://www.theguardian.com/technology/2014/may/28/google-reveals-driverless-car-prototype>

» **Handle.** (s.f.). Recuperado de <https://www.bostondynamics.com/handle>

» **Johnson, S.** (2003). Sistemas emergentes: o qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software. Madrid, España. Turner.

» **Laschi, C., Mazzolai, B. & Cianchetti, M.** (2016). Soft robotics: Technologies and systems pushing the boundaries of robot abilities, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1126>

» **Legg, S., Hutter, M.** (2006). Universal Intelligence: A Definition of Machine Intelligence, 391-444. <http://dx.doi.org/10.1007>  
Macro. (n.d.). Recuperado el 27 de Junio, 2017 de <http://valk-photography.com/macro/7fu5uiz5j5eytpwqg4iob55q5t6zs>

» **Margulis, L.** (1973). Symbiosis and evolution. En M. Santos (Eds.), *Readings in Biology and Man* (1a ed., pp. 1-288). Nueva York, N.Y: MSS Information Corporation. Recuperado de [https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=EM89\\_U2gddkC&oi=fnd&pg=PA140&dq=lynn+margulis+symbiosis&ots=-5oEZIAyb9&sig=To\\_7h7NQCLYtE-Sie6qwZXYs98pw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=EM89_U2gddkC&oi=fnd&pg=PA140&dq=lynn+margulis+symbiosis&ots=-5oEZIAyb9&sig=To_7h7NQCLYtE-Sie6qwZXYs98pw#v=onepage&q&f=false)

» **McHenry, M., Jed, J.** (2003). The ontogenetic scaling of hydrodynamics and swimming performance in jellyfish (*Aurelia aurita*). *The Journal of Experimental Biology*, 206, 4125-4137. <http://dx.doi.org/10.1242>

» **Octobot, el primer robot blando totalmente autónomo; se mueve sin baterías ni cables.** (2016, August 27). Recuperado el 27 de junio, 2017 de <http://alef.mx/wp/octobot-el-primer-robot-blando-totalmente-autonomo-se-mueve-sin-baterias-ni-cables/>

» **OctopusGripper.** (n.d.). Recuperado el 27 de Junio, 2017 de <https://www.festo.com/group/en/cms/12745.htm>

» **Oxman, N.** (Marzo, 2015). *Neri Oxman: Design at the intersection of technology and biology.* [Archivo de video]. Recuperado de [https://www.ted.com/talks/neri\\_oxman\\_design\\_at\\_the\\_intersection\\_of\\_technology\\_and\\_biology](https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology)

» **Quién fue y qué hizo Alan Turing.** (s.f.). Recuperado de <http://varinia.es/blog/2015/02/14/quien-fue-que-hizo-alan-turing/>

» **Robotic stingray powered by light-activated muscle cells.** (2016). Recuperado de <http://www.sciencemag.org/news/2016/07/robotic-stingray-powered-light-activated-muscle-cells>

» **Roll, robot, roll.** (2011). Recuperado de <https://www.sciencenewsforstudents.org/article/roll-robot-roll>

» **Sanflea.** (s.f.). Recuperado de <https://www.bostondynamics.com/sanflea>

» **Shepherd, R., Ilievski, F., Choi, W., Morin, S., Stokers, A., Mazzeo, A.,... Whitesides, G.** (2011). Multigait soft robot, 108(51), 20400-20403. <http://dx.doi.org/10.1073>

» **Simbiogénesis.** (s.f.). Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Simbiog%C3%A9nesis>

» **Soft Robotics.** (s.f.). Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Soft\\_robotics](https://en.wikipedia.org/wiki/Soft_robotics)

» **Soft Robotic Gripper can pick up and identify wide arrange of objects.** (2015). Recuperado de [http://www.csail.mit.edu/baxter\\_soft\\_robotic\\_gripper](http://www.csail.mit.edu/baxter_soft_robotic_gripper)

» **Tarride, I.** (2011). Interfaces cerebro-máquina. Aplicadas al diseño de experiencias. *Revista DISEÑA*, 3 <http://www.revistadisena.com/interfaces-cerebro-maquina/>

» **The first autonomous, entirely soft robot.** (2016). Recuperado de <http://news.harvard.edu/gazette/story/2016/08/the-first-autonomous-entirely-soft-robot/>

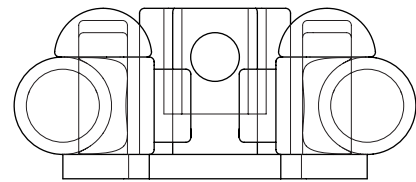
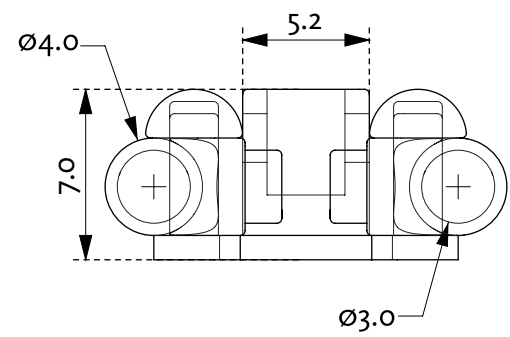
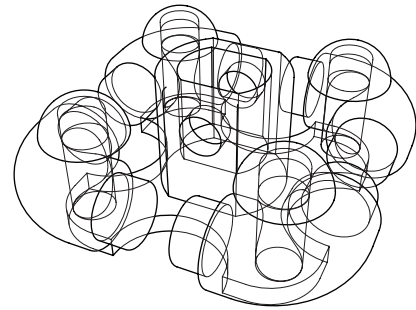
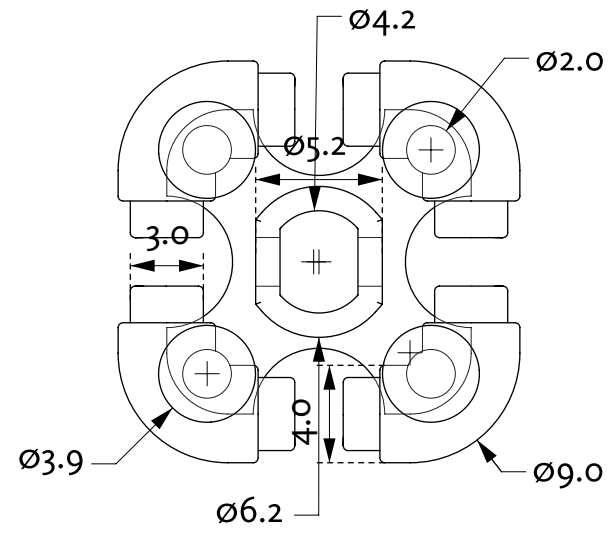
» **Viddsee.** [Viddsee]. (30 junio 2016). *TGrowing Roots - This Farmer Is Taking Root On Your Rooftops* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=vPRySy-3Qtvs&t=228s>

» **Wagner, R.** (2000). *Designs on Space: Blueprints of 21st century space explorations.* Nueva York, N.Y: Simon & Schuster. Recuperado de <https://books.google.cl/books?id=fvx1jqei1mkC&pg=PA7&lp-g=PA7&dq=SSRMS+how+does+it+work&source=bl&ots=mNmviOypES&sig=05hukP-8fOio6zYEsquNG3WTP54&hl=es&sa=X&ved=oahUKEwiEv-bm2dTUAhVEIZAKHXaApo-Q6AEITjAG#v=onepage&q=SSRMS%20how%20does%20it%20work&f=false>

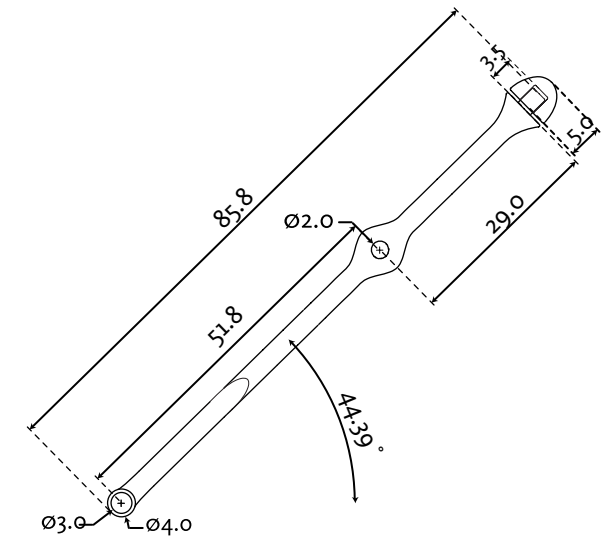
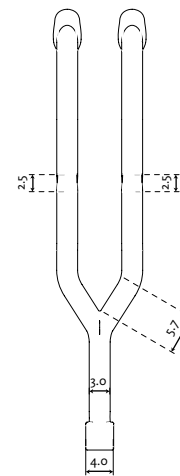
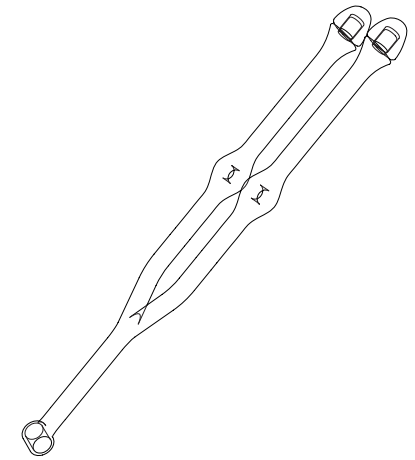
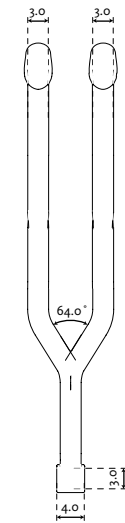
» **Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., Mitsuhashi, S., Nishi, Y. & Uryu, M.** (1989). The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. *Journal of Materials Science*, 24(9), 3141-3145. <https://doi.org/10.1007/BF01139032>

# Anexos

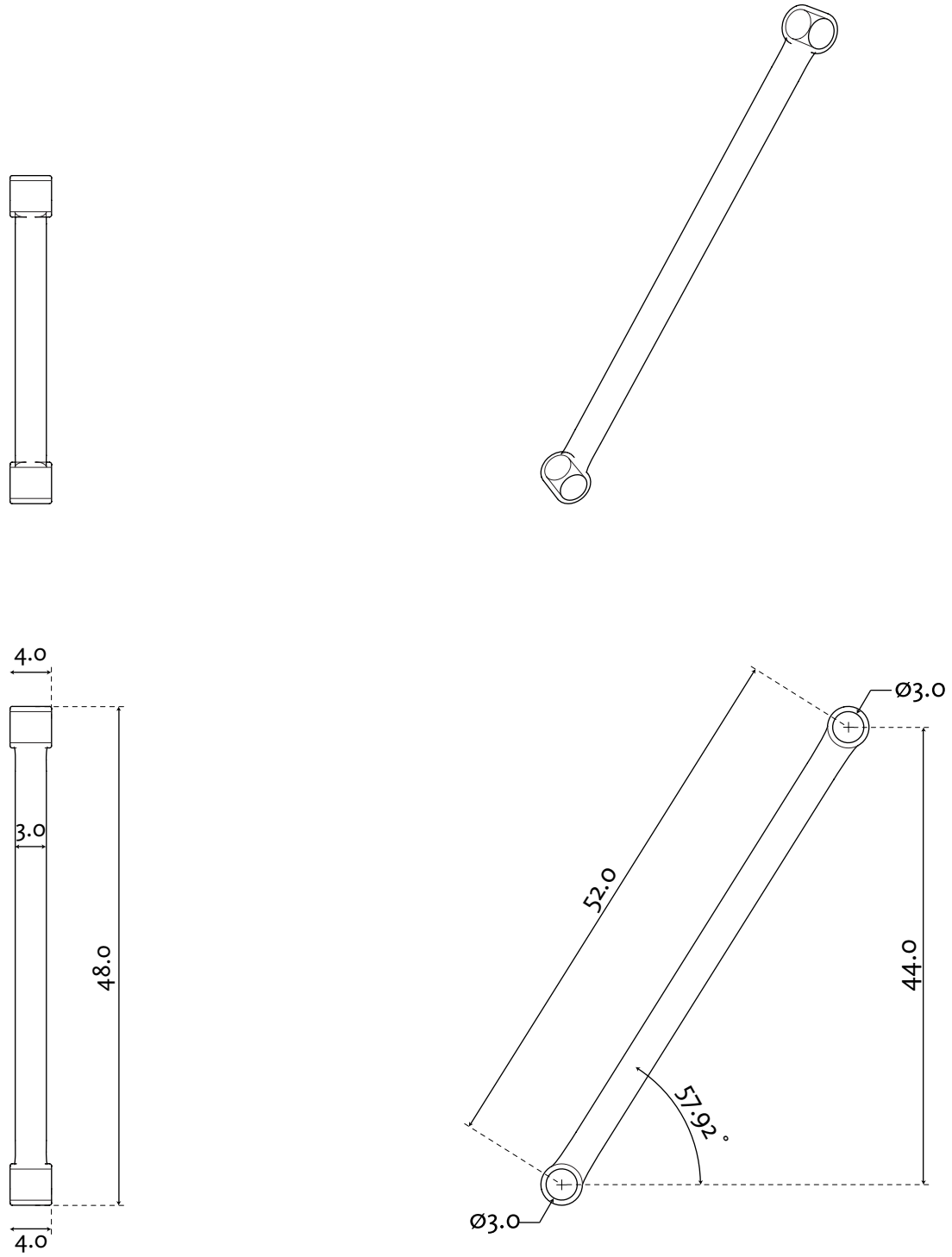
## Base pistón



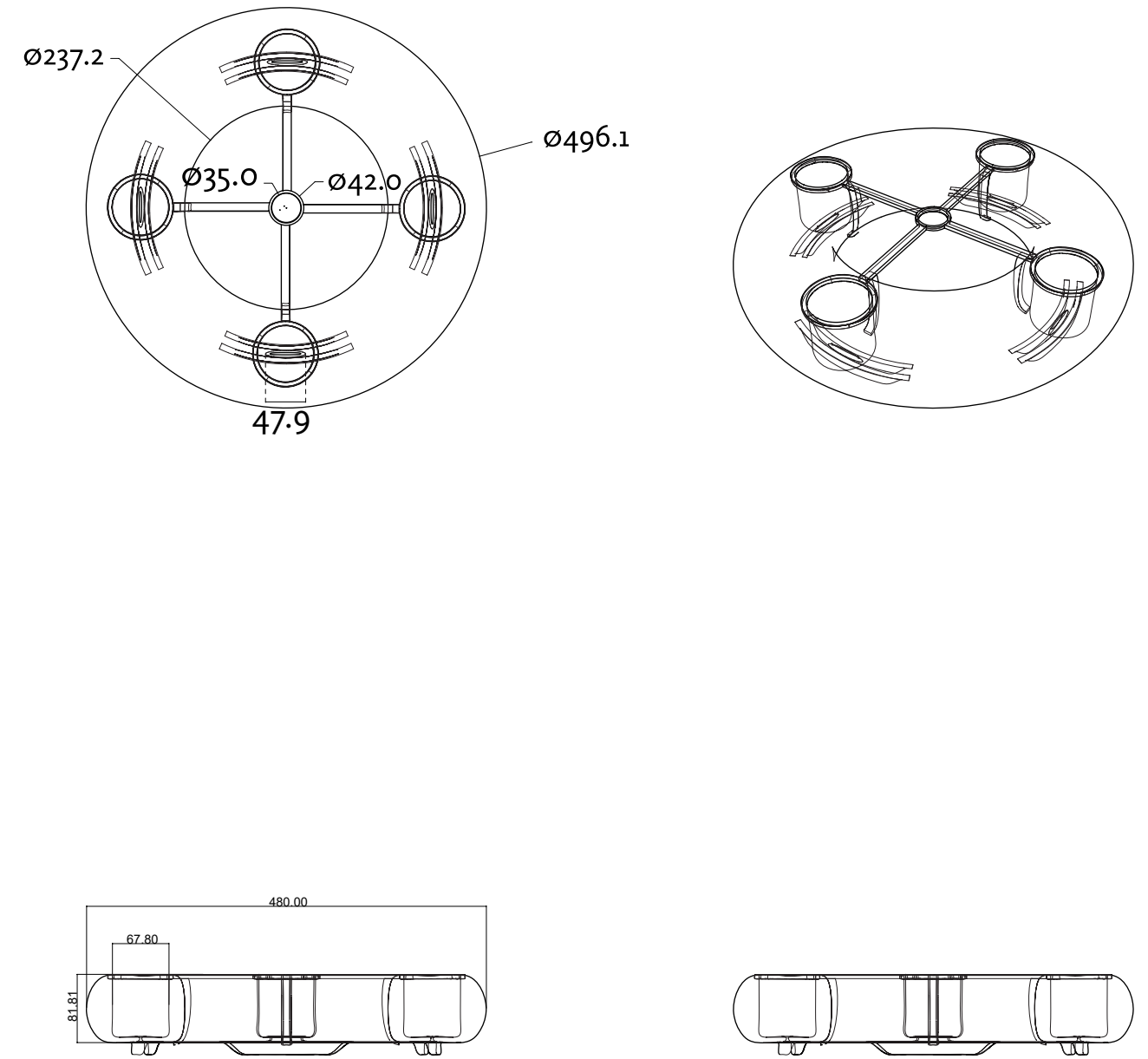
## Brazos tipo A



### Brazo tipo B

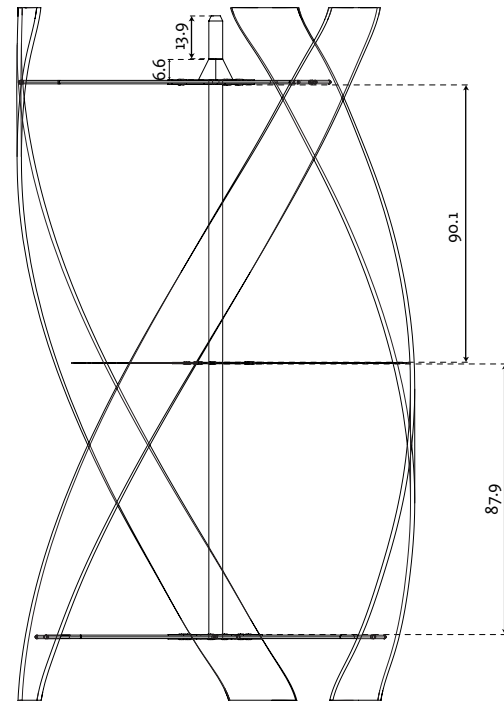
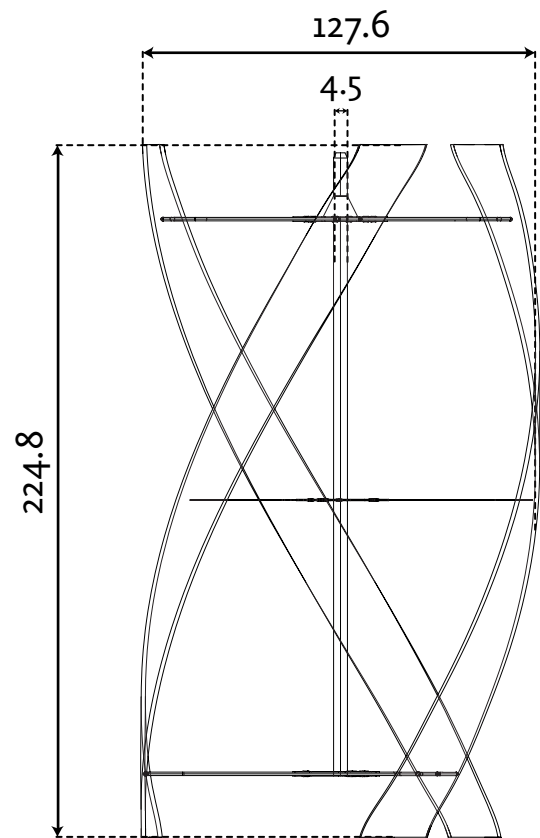
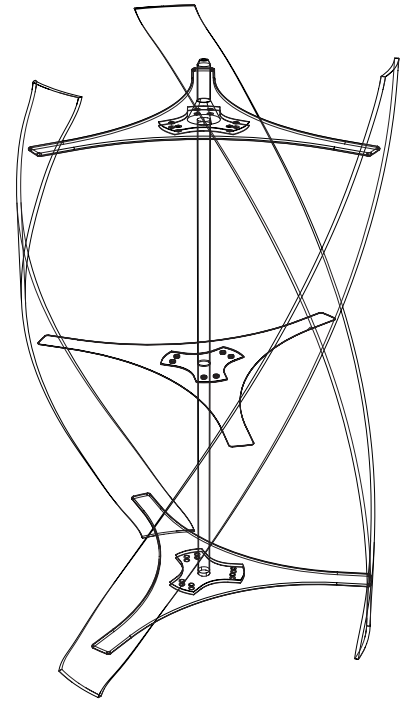
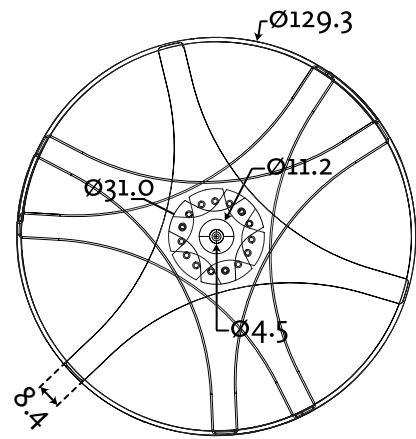


### Soporte flotador

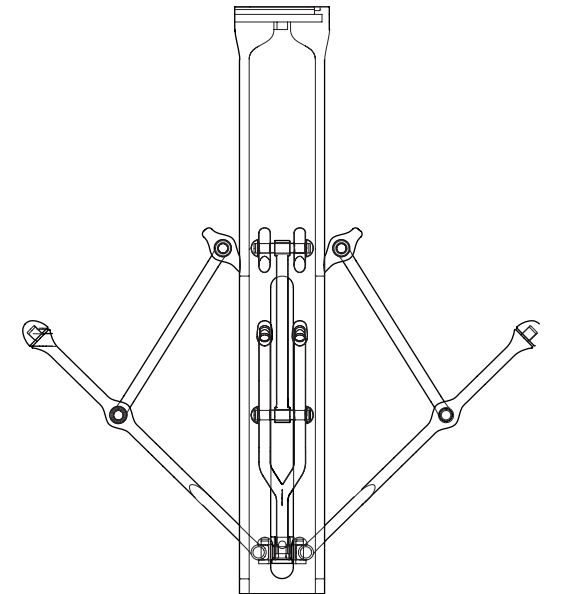
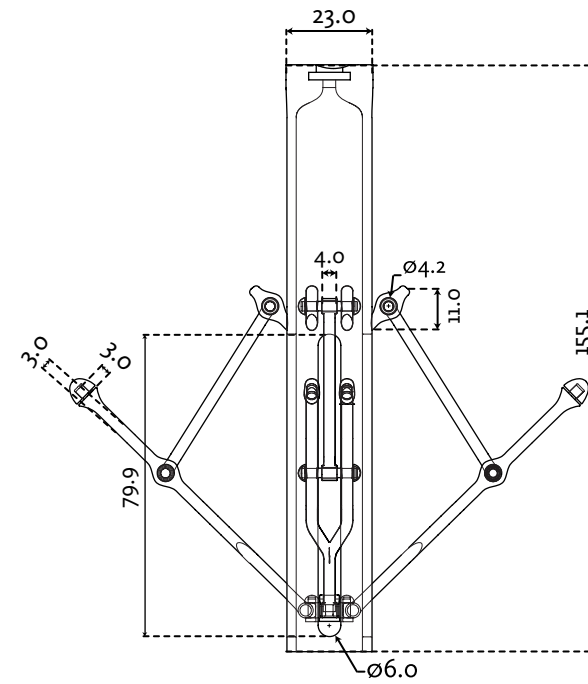
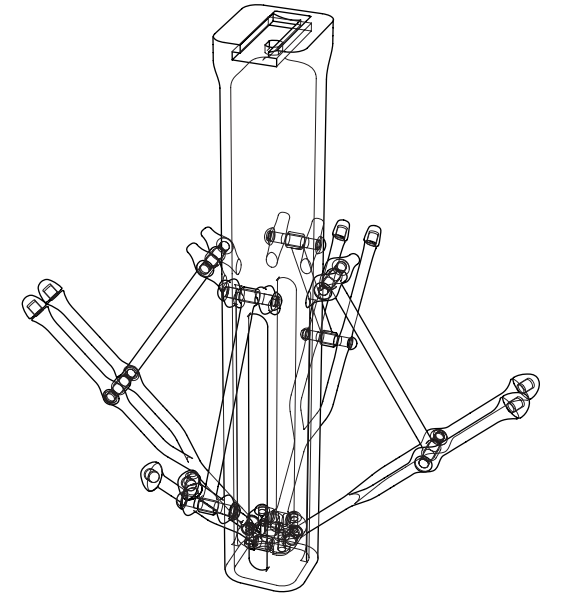
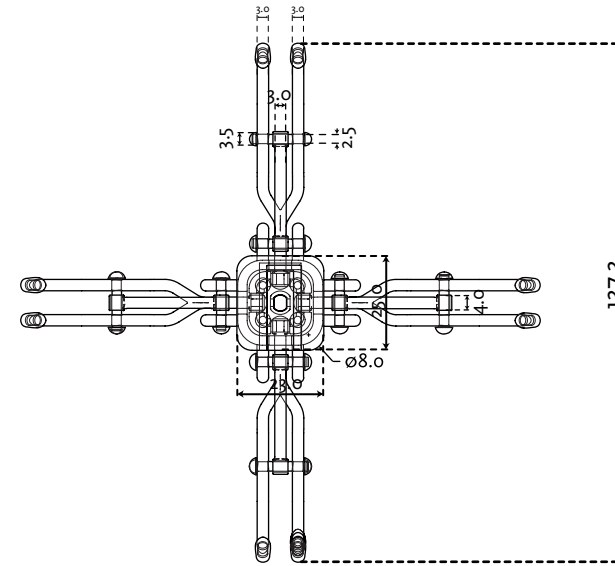




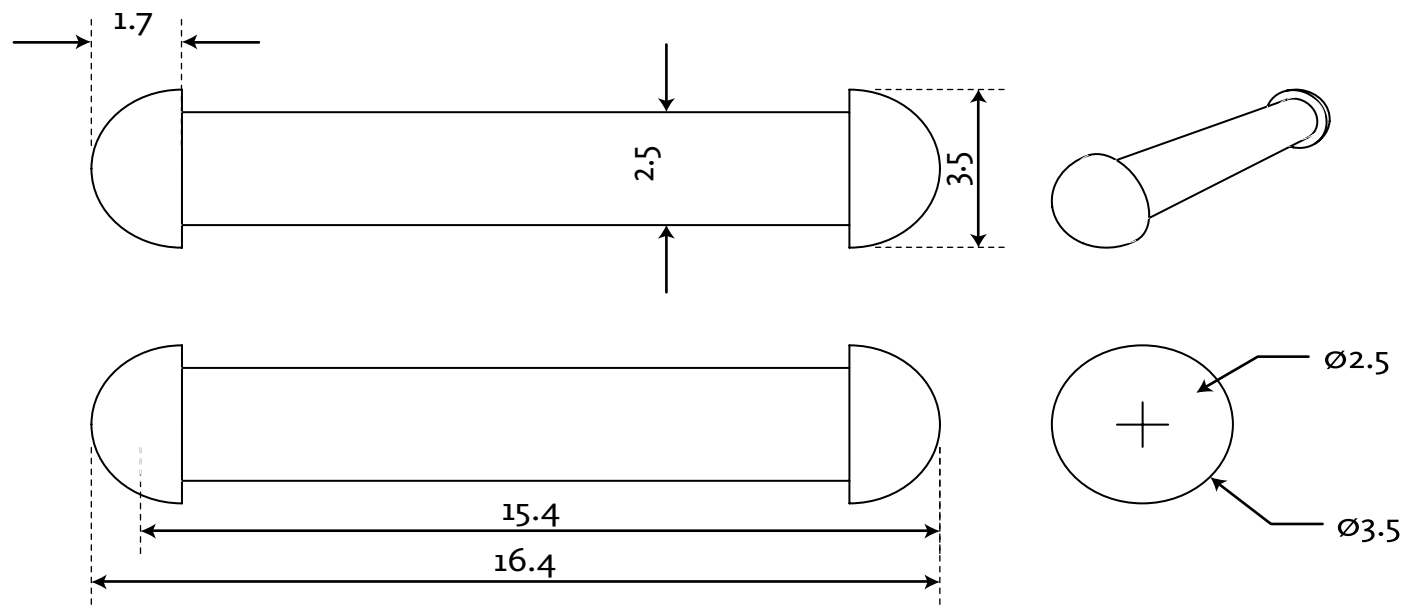
### Hélice vertical



### Guía pistón y brazos

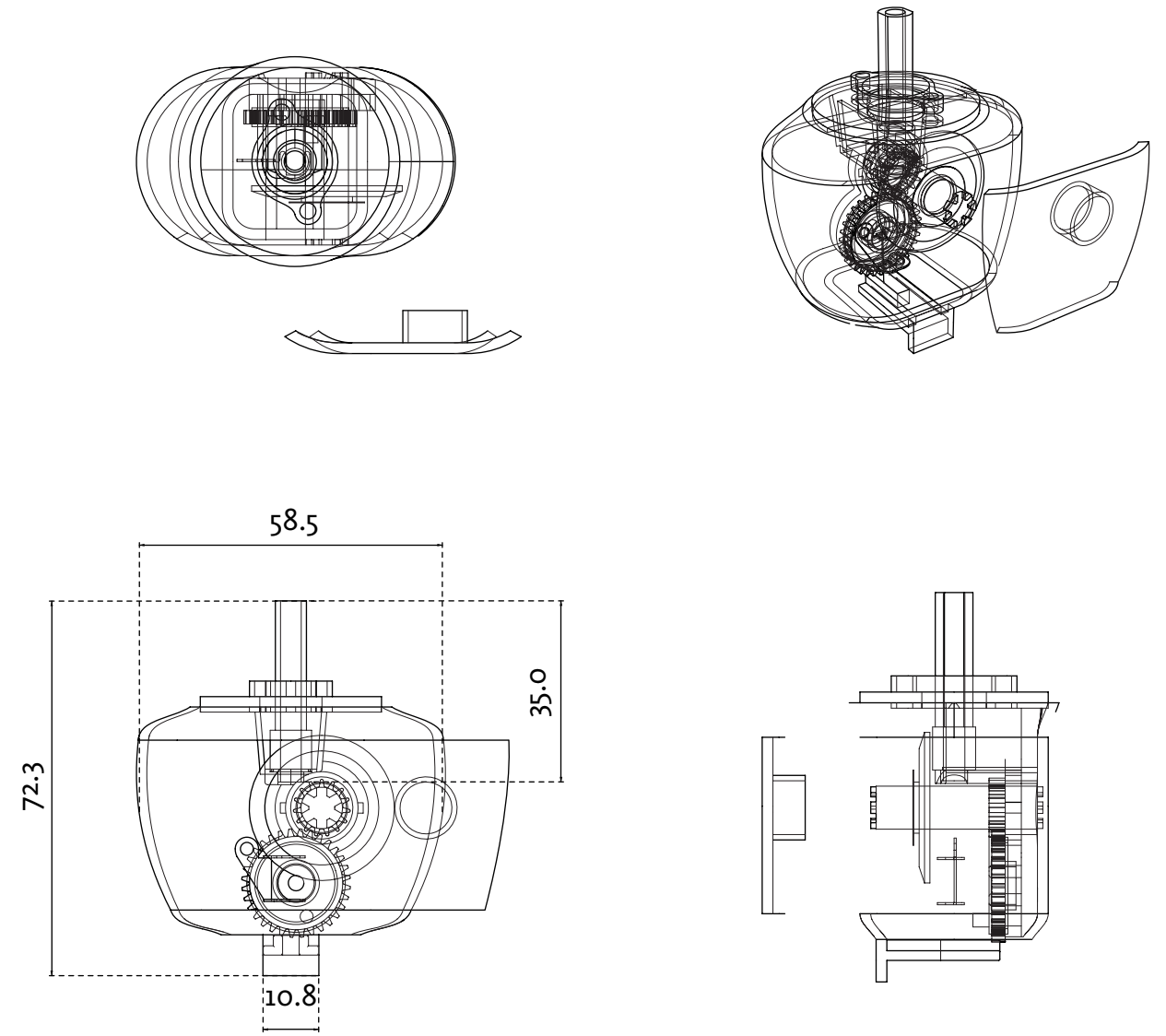


### Pasador brazos



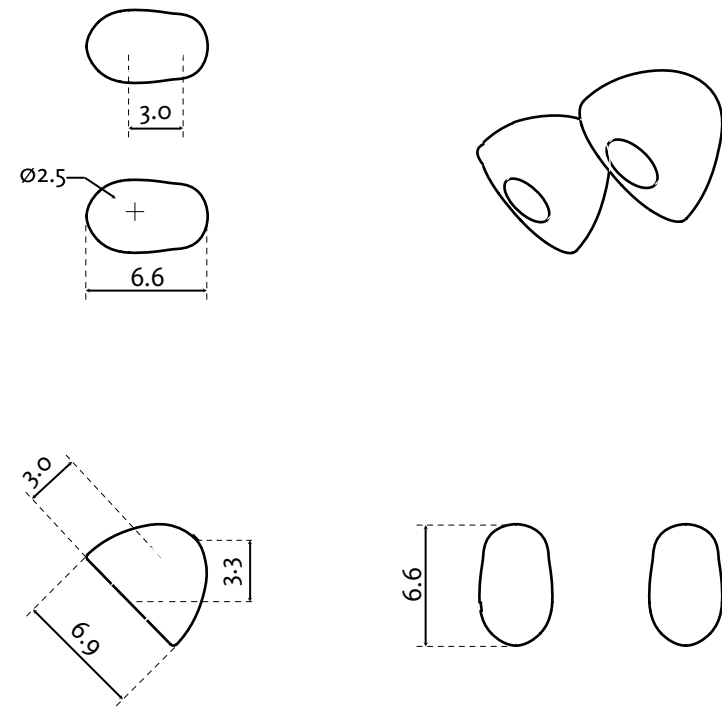
146

### Cuerpo principal

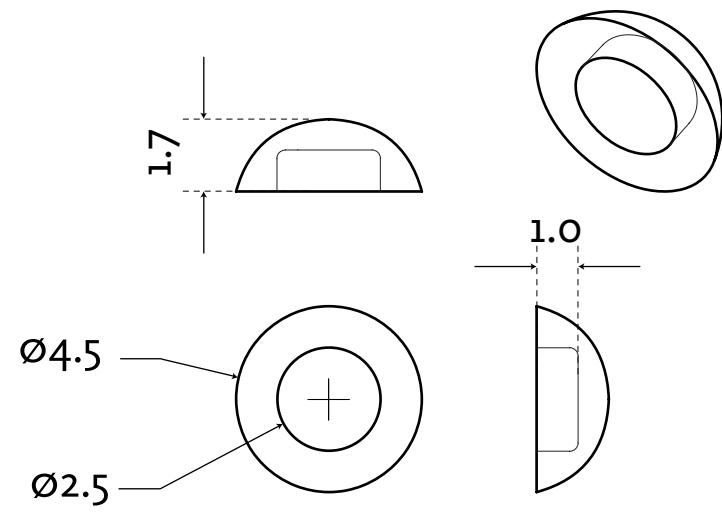


147

### Tapa brazos tipo A



### Tapa base pistón



### Unión cuerpo-hélice

