

# Simulación de miembros superiores

Martín Exequiel Urbano  
Supervisor: Bauer, Jorge M.

Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.  
Medrano 951, CABA, Argentina.  
martinexequiellurbano@gmail.com

## Resumen

Este proyecto hace hincapié en la interrelación de la anatomía humana, específicamente de las extremidades superiores con sistemas mecatrónicos, con el objetivo de recrear la dinámica de una extremidad real y así lograr utilizar ésta información en el desarrollo futuro de una prótesis y humanoide complejo. Es un primer paso para entender que ocurre en acciones cotidianas de aprehensión y movimiento de las extremidades superiores descritas por movimientos simples.

## I. INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado a lo largo del mundo es amplio respecto al desarrollo de la robótica industrial pero no así en las ramas de la medicina. En especial en Argentina, no hubo aun gran desarrollo de estas tecnologías, ya sean prótesis mioeléctricas (Fig.1) o accionadas por tracción del cuerpo (muñón y/o del correaje del hombro) (Fig.2) debido a su elevado costo de fabricación o su complejidad, aunque en los últimos años con la ayuda de las impresoras 3D se ha logrado conseguir prototipos a menor costo y de mecánica simple (Fig.3). Las prótesis mencionadas han aumentado la calidad de vida de miles de personas pero no satisfacen lo suficiente al usuario por su limitada acción.

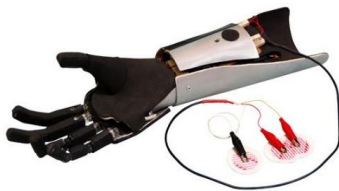


Figura 1. Prototipo desarrollado UTN – FRT ganador de innovar 2009

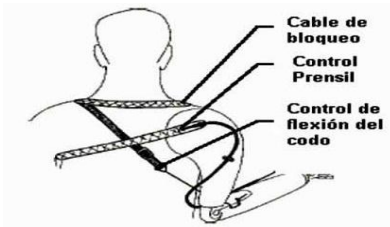


Figura 2. Prótesis por tracción del correaje del hombro.



Figura 3. Prótesis por tracción impresa.

En contraparte, la simulación permite un desarrollo de bajo costo y altas prestaciones, donde se pueden evaluar diseño y desempeño sin la necesidad de contar con la maquinaria y tecnología de fabricación. Mediante el software de simulación AnyCode Marilou [1] es posible llevar a cabo y adentrarse en la comprensión de la biología humana y generar así los cimientos de un prototipo final, alcanzando un alto nivel de performance.

El entorno de simulación Marilou cuenta con análisis de inercias y colisiones, con la capacidad para poner a prueba algoritmos de control en lenguajes como C , C++ o C# y comunicarse con múltiples programas corriendo en paralelo a su simulación. Es una herramienta práctica y versátil que nos da la posibilidad de simular sistemas muy próximos a los reales ya que cada robot puede ser diseñado con distintos tipos de actuadores y sensores de forma precisa. [2][3]

A nivel costo, cabe mencionar que dicho programa posee una versión libre orientada a estudiantes y hobbistas permitiendo modelar y simular configuraciones con un desempeño aceptable. La Fig.4 muestra una imagen tomada del entorno de desarrollo y la Fig. 5 muestra la aplicación del miembro superior izquierdo en funcionamiento.

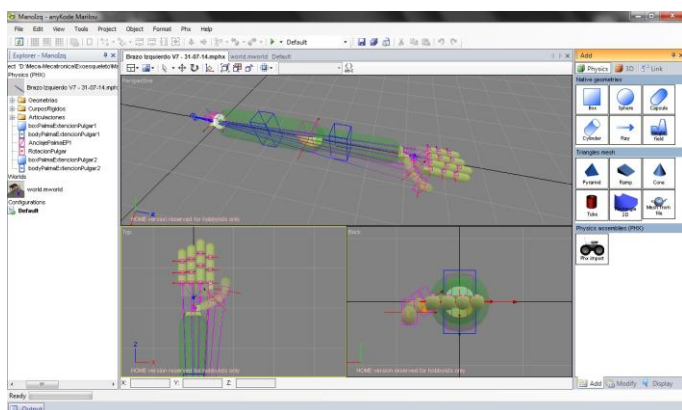


Figura 4. Entorno de desarrollo de Marilou.

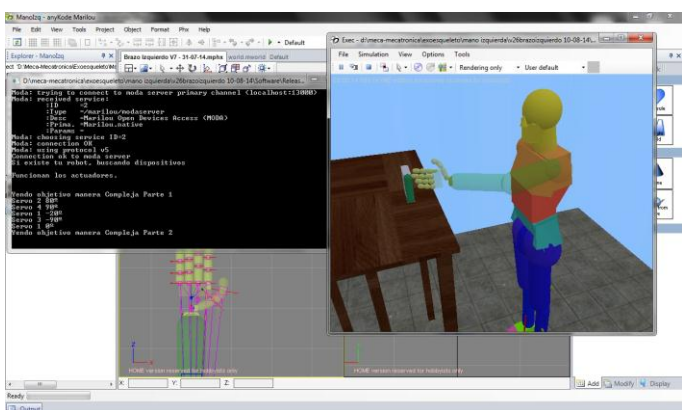


Figura 5. Simulación en proceso.

## II. OBJETIVOS

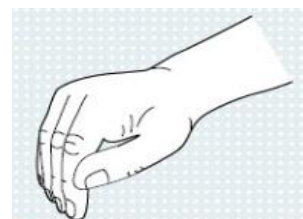
El desarrollo de este prototipo de miembro superior se basa en la existencia de un humanoide conocido como “Pánfilo”, que es obra del grupo de investigación de Meca-mecatrónica de la U.T.N. F.R.B.A. que tiene como fin ser soporte de un exoesqueleto de miembros inferiores y un medio de adiestramiento del mismo. El estudiante a cargo de este escrito, fue desarrollando distintas tareas respecto al mencionado proyecto y una de ellas fue la problemática de como poder hacer que Pánfilo utilice muletas, ya que en principio no tenía extremidades superiores funcionales. Luego, surgieron otras inquietudes: la aprehensión de libros, herramientas, entre otros. Por ese motivo, se generó un brazo, antebrazo, muñeca y mano completos con el fin de poder operar a Pánfilo y simular distintas acciones de un ser humano real.

En primera instancia, se propuso generar un prototipo tal que pueda realizar los movimientos ergonómicos de una mano real (objetivos primarios). Luego, a partir de ellos se seguiría hacia la mejora de la aprehensión de objetos específicos (objetivos secundarios/específico).

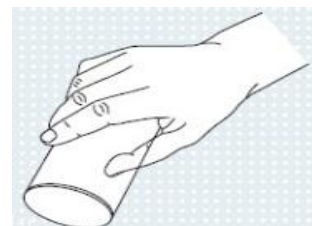
### A. Objetivos primarios:

Se denomina objetivos primarios al conjunto de movimientos básicos simples que coordinados generan distintos tipos de agarres. Dependiendo del tipo de objeto ya sea por geometría, tamaño o peso se generó una división simplificada de los movimientos más utilizados con el fin de poder emular los mismos con actuadores lineales. Se clasificaron en:

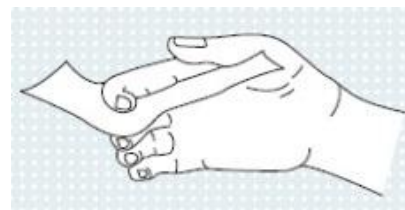
1. Agarre de pinza lateral: moviendo el pulgar lateralmente hacia el dedo índice de modo que pueda sostener objetos planos, como indica la Fig.6 a continuación:



2. Agarre lateral fuerte: moviendo el pulgar hacia el dedo corazón para poder sostener lateralmente objetos de tamaño medio, como indica la Fig.7 a continuación:



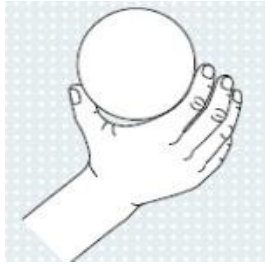
3. Agarre por abducción y aducción de los dedos: separando y cerrando los dedos para poder sostener varios objetos planos y fino entre ellos, como indica la Fig.8 a continuación:



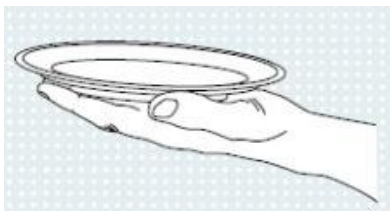
4. Agarre trípode: El pulgar, el dedo índice y el corazón constituyen tres puntos de apoyo de modo que se pueden sostener objetos pequeños de forma segura, como indica la Fig.9 a continuación:



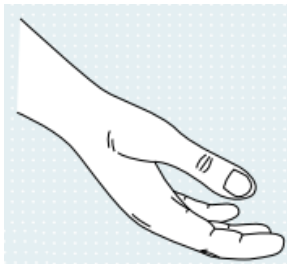
5. Agarre de oposición: el ancho de la apertura permite sostener objetos de gran diámetro, como indica la Fig.10 a continuación:



6. Agarre de palma abierta: el pulgar extendido hacia afuera con la mano abierta de modo que conseguir una posición de mano plana, como indica la Fig.11 a continuación:



7. Posición neutral: se relaciona con el estado de reposo de la mano cuando no es solicitada. En esta posición, la mano esta relajada y adopta una forma curva, como indica la Fig.12 a continuación:



8. Agarre de pinza lateral: moviendo el pulgar lateralmente hacia el dedo índice de modo que pueda sostener objetos planos, como indica la Fig.6 a continuación:



### B. Objetivos secundarios/específicos:

Se basa en el intento de generar rutinas pre-pensadas para objetos y situaciones específicas con el objetivo de ser funciones de aprehensión por defecto de la prótesis mencionada:

1. Manipulación de un libro colocado sobre una mesa y desplazarlo hacia una repisa, depositándolo allí.
2. Manipulación de una mancuerna de ejercicios y generar movimientos de abducción y aducción de bíceps y luego arrojlarla.

### III. DESARROLLO

Se comenzó por modelos sencillos que fueron creciendo en complejidad y robustez. Durante el proceso, se fue consolidando y afirmando los conocimientos sobre el simulador, descubriendo nuevas herramientas y estrategias de diseño.

La información ergonómica y anatómica sobre la nomenclatura de elementos constitutivos, disposición de componentes funcionales y limitaciones fueron obtenidos del libro “Ergonomía para diseñadores” [4] y con ayuda de la empírea, tomando como referencia la propia anatomía y sus limitaciones.

La mano virtual es un reflejo de la composición ósea de la mano real imitando la disposición y tamaño de las componentes descritas a continuación (Fig.13). No se diseñaron todos los huesos de la mano solo las falanges y el metacarpo del pulgar. Los demás huesos, metacarpianos y carpos no son funcionales (no tienen articulaciones que generen movimientos directos) por lo que no aparecen en el modelo de forma separada sino como una sola estructura.

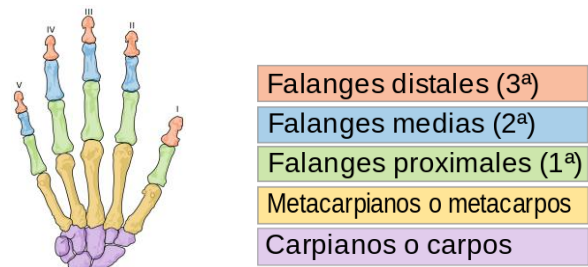


Figura 13. Composición ósea de la mano.

Respecto al resto del miembro superior se basó también en la disposición ósea pero no con todos los huesos, sino en conjuntos según la Fig.14.

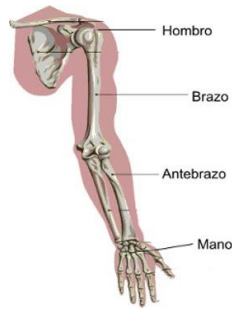


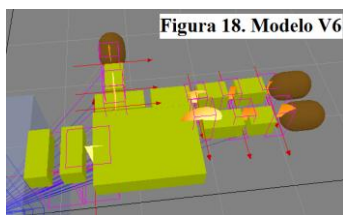
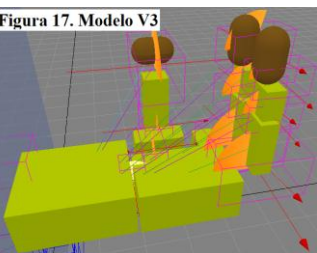
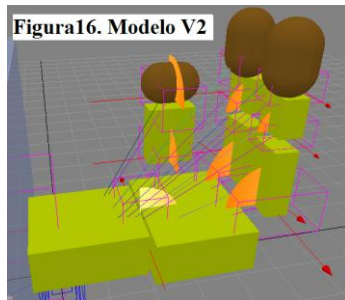
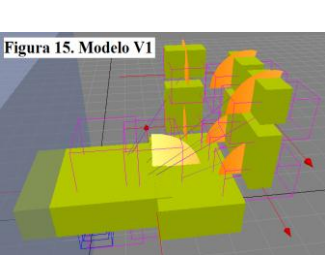
Figura 14. Distribución de los huesos según subdivisión

**A. Diseño y modelado:**

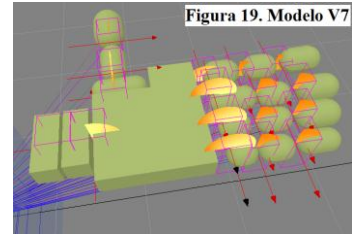
En ésta primera etapa, se intentó generar modelos de manos y también el resto del miembro superior en base a la información biológica de los mismo y la continua retroalimentación entre lo que se propuso como objetivo primario y lo que el modelado físico-virtual podía realizar.

El modelo V1 (Fig.15) es un antebrazo y muñecas sin movimiento soportado en una base rígida con tres dedos compuestos por dos falanges, esta mano solo cierra los dedos. Luego, surgió el modelo V2 (Fig.16) que poseía además yemas en el extremo de cada dedo con sensores de tacto en ellos para saber cuándo se pulsaba un objeto, además se agregó movimiento a la muñeca y antebrazo. En el modelo V3 (Fig.17), se puede apreciar la adición del metacarpo del pulgar y la suma de una articulación junto a las rotaciones propias del índice, para un incremento en el poder de agarre y firmeza.

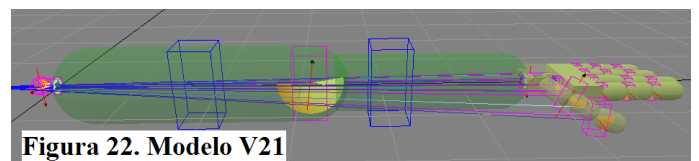
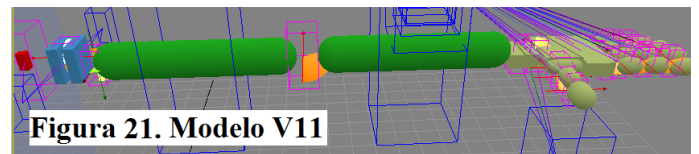
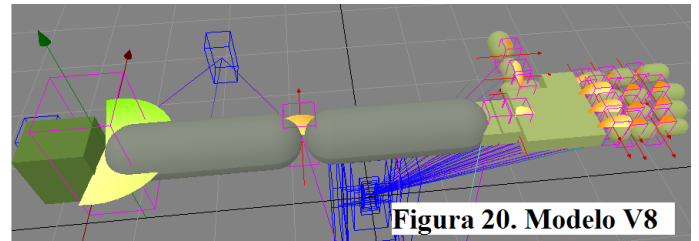
Incrementando el nivel de dificultad, se utilizaron dedos más largos y se empezó a dejar espacio para el dedo corazón, anular y meñique en el modelo V6 (Fig.18), sumado a los primeros avances respecto a lograr lo llamado posición neutral para una mayor similitud con la mano real.



Finalmente, en el modelo V7 (Fig.19) se logró una mano completa con cinco dedos compuestos de tres partes cada uno y sensores de tacto uno por cada yema, sumado a un sensor de tacto en la palma.



En vista de una mano completa funcional, se prosiguió a agregar un antebrazo y brazo junto con sus respectivas articulaciones en el modelo V8 (Fig.20). En las versiones subsiguientes, se buscó una mejora de la armonía de los movimientos y mayor grado de libertad del conjunto como en la V11 (Fig.21) y posteriormente se sumaron conceptos ergonómicos que mejoran el agarre además de ser útiles en estrategias de aprehensión así como también en lograr una posición neutral más satisfactoria, V21 (Fig.22).



**B. Movimientos y objetivos:**

A medida que las piezas constitutivas virtuales se desarrollaban, el software seguía un camino paralelo, es decir, que el mismo controlaba más y de mejor manera los elementos mencionados. Una vez alcanzado un nivel alto de performance comenzó una etapa de programación y planificación de estrategias de agarres y posiciones.

En la tapa actual del proyecto no se han logrado todos los objetivos primarios pero sí todos los secundarios, debido a su

complejidad y la necesidad de un mayor tiempo de desarrollo en diseño y software. Sin embargo, se logró un gran nivel de desempeño en los siguientes objetivos primarios:

- Agarre lateral fuerte.
- Agarre trípode.
- Agarre de oposición.
- Posición neutral.

Respecto a los objetivos secundarios se han podido cumplir satisfactoriamente utilizando el agarre lateral fuerte.

#### IV. CONCLUSIÓN

Considero a la simulación una herramienta fundamental de la ingeniería en la actualidad, no solo por la reducción de costos sino por la velocidad que provee para el prototipado y aplicación de estrategias de desarrollo distintas, todo a un clic de distancia.

Respecto a la simulación de este prototipo, se alcanzó un gran nivel respecto al maquetado estructural pero se reconoce que aún falta mucho camino por recorrer en el diseño de software. A pesar de ello, se da por finalizado un ciclo de trabajo y se prevén nuevos agregados funcionales y lógicos en el futuro.

Sin perder de vista las limitaciones de Anykode Marilou, se comprende que gran parte de las restricciones de este trabajo se deben a la imposibilidad de reflejar la realidad dentro de un sistema computarizado. Sin embargo, hay un fuerte interés en proponer mejoras del entorno al fabricante y así adentrarse más en el desarrollo propio.

#### V. PROYECCIONES

- **Nuevos sensores:** están en proceso de desarrollo nuevos sensores que simularían deformaciones elásticas, muy importantes en las técnicas de aprehensión.
- **Más y mejores técnicas de aprehensión:** se continúa en el desarrollo de las actuales técnicas de aprehensión y sumando más de las mencionadas en los objetivos primarios
- **Agarre de más objetos + manipulación más compleja:** ante la creación de nuevos objetos virtuales se planifica su aprehensión y manipulación gradual, teniendo en cuenta que para ello se deberá pedir al fabricante del simulador actualizaciones que prevean un mejor funcionamiento en el “cálculo de colisiones de objetos rígidos”
- **Extremidad derecha + manipulación conjunta:** una vez alcanzado un mayor nivel de desarrollo se planifica

agregar otra extremidad, como complemento para fortalecer la recreación de las acciones que forman parte de la vida cotidiana de las personas.

#### REFERENCIAS

[1] Ricatti Laurent (2014). Anykode Marilou. [www.anykode.com](http://www.anykode.com)

[2] Bauer Jorge M., Garayalde Damian A. “Selección, adaptación y validación de un entorno de simulación computarizado para el modelado y análisis del comportamiento dinámico de sistemas mecatrónicos en robots móviles complejos.” III Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, Capital federal, Argentina, 2012.

[3] Bauer Jorge M., Garayalde Damian A., Riepl David, Laguy Hernan “Systematic-validation of a computer-simulation-environment for modeling and dynamic-behavior-analysis of complex mechatronic mobile robot's systems” European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Vienna, Austria, 2013.

[4] “Ergonomía para diseñadores” de Antonio bustamante. Editorial MAPFRE, Madrid, 2008.