

## MECATRONICA - Apuntes 2006

### Licenciatura en Artes Electrónicas UNTREF

#### Breve Historia

La palabra Mechatronics fue acuñada en 1969 por un ingeniero *Senior* de la compañía japonesa Yaskawa como la combinación de "mecha", de mecanismos (*mechanisms*) y "tronics" de electrónica (*electronics*). La compañía recibió los derechos de marca sobre la palabra en 1971.

La palabra pronto tuvo amplia aceptación en todo el mundo y, para permitir su libre uso, Yaskawa eligió abandonar sus derechos sobre la palabra en 1982 lo que permitió una aún más amplia difusión. En ambientes técnicos y científicos la palabra y el concepto son utilizados para describir una filosofía de ingeniería más que una tecnología propiamente dicha.

La mecatrónica es entonces una disciplina relativamente nueva dentro del campo de la tecnología y resulta particularmente esquivada a la adopción de una definición precisa por el carácter netamente interdisciplinario que la caracteriza desde su origen.

Con fronteras cada vez menos nítidas entre ciencias, arte y tecnología resulta imprescindible el dominio en este campo de un concepto integrador como el propuesto por la Mecatrónica.

#### Definiciones de Mecatrónica<sup>1</sup>

Hay casi tantas definiciones como interesados en la disciplina. Citamos a continuación algunas de ellas:

Mecatrónica...

"Es un enfoque interdisciplinario, basado en sistemas de comunicación abiertos y prácticas concurrentes, para el diseño de mejores productos de ingeniería"

"Campo de estudio que combina los fundamentos de la ingeniería mecánica, electrónica y de computación"

"La combinación de hardware y software para el diseño y análisis de técnicas avanzadas de control"

"Ciencia que integra los dispositivos mecánicos con sus controles electrónicos"

En esta cátedra aceptaremos como válida, sin acotarnos exclusivamente a ella, la definición propuesta por J. A. Rietdijk en 1989:

*"Mecatrónica es la combinación sinérgica de la ingeniería mecánica de precisión, de la electrónica, del control automático y de los sistemas para el diseño de productos y procesos"*

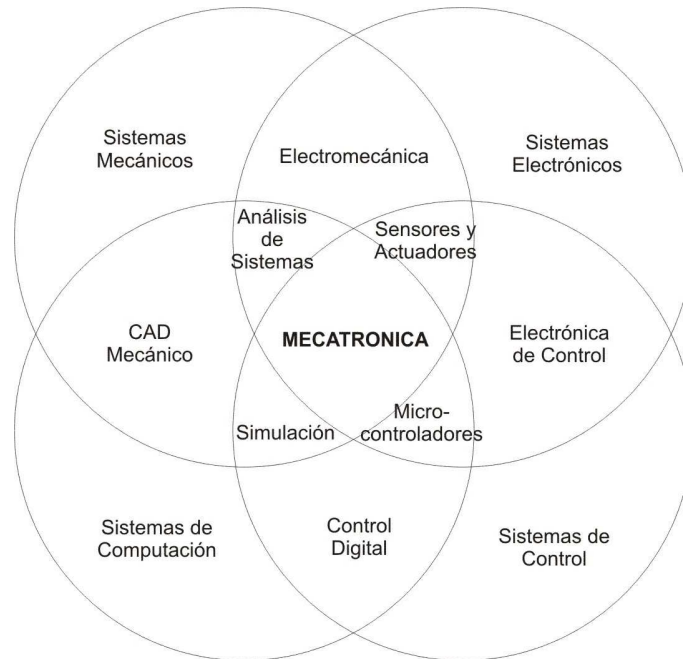
Esta definición nos parece especialmente adecuada por el énfasis que pone en la **sinergia**, los **sistemas** y el **diseño**. También es importante no perder de vista la frase sobre **el control automático**.

---

<sup>1</sup> Más definiciones de Mecatrónica (Inglés) en <http://www.engr.colostate.edu/~dga/mechatronics/definitions.html>

## Alcances.

El Instituto Politécnico Rensselaer y la Universidad Johannes Kepler de Linz así como otros, han adoptado un diagrama de Venn para especificar las disciplinas que componen la mecatrónica:



En este diagrama podemos ver 12 disciplinas interviniendo conjuntamente en la Mecatrónica, algunas de las cuales surgen de la intersección de otras.

Los cuatro conjuntos principales son los **Sistemas Mecánicos**, los **Electrónicos**, los **Sistemas de Control** y los de **Computación**

Usualmente los campos más cercanos a los de la creación artística suelen ser los sistemas de computación, los de CAD y particularmente las simulaciones, elementos todos que podemos considerar dentro de un mundo virtual ubicado en el sector inferior derecho del diagrama.

Cuando se pretende intervenir en el "mundo real" se hace imprescindible cruzar hacia el otro lado del diagrama y recurrir a sistemas electrónicos, mecánicos y electromecánicos los que:

- obtendrán información de ese mundo real mediante diferentes sensores u otras interfaces
- la procesarán digitalmente mediante un sistema de computación y
- actuarán en consecuencia para modificar nuevamente el mundo real mediante alguna clase de actuador.

Un ejemplo de estos sistemas podría ser el TeleGarden de Ken Goldberg<sup>2</sup>. En esta instalación de arte de 1995 el público (mundo real) podía interactuar con el sistema mediante una página de Internet (la

<sup>2</sup> The TeleGarden Website: <http://www.ieor.berkeley.edu/~goldberg/garden/Ars/>

interfaz) sobre un brazo robótico de tipo industrial (el actuador). Este brazo operaba sobre un jardín con plantas vivientes y podía regarlas, plantar nuevas semillas, etc. mientras todo el proceso podía ser seguido On Line por el público.



*TeleGarden de Ken Goldberg y Joseph Santarromana*

Prescindiendo de cualquier sentido metafórico de la obra y reduciéndola a su mero esquema tecnológico podríamos abusar del ejemplo pensando que si le agregáramos algunos sensores podríamos automatizar el proceso para -por ejemplo- prescindir de la acción humana.

Continuando con el pensamiento, podríamos agregar algunos sensores de humedad para determinar la necesidad de riego, medidores de ph de la tierra para establecer la necesidad de complementos minerales, abonos etc.

Usualmente las aplicaciones industriales tienden a este último tipo de configuración en donde el esquema se reduce a medir algunas variables, actuar sobre el sistema con elementos que corrigen esas variables cuando se alcanzan ciertos valores límites, continuar luego sensando permanentemente hasta que se reinicia el ciclo.

Esto es lo que se conoce como Sistemas de Control Automático (parte inferior derecha de nuestro diagrama) y estará presente de una u otra forma en cualquier dispositivo mecatrónico.

## Sistemas de Control Automático

### **Antecedentes – Primeras vinculaciones con el arte**

Podemos definir como un Sistema automático a aquél que pueda actuar por si mismo, sin intervención humana, desencadenando algún efecto programado en el preciso momento en que se produzcan determinadas condiciones previstas por el programador.

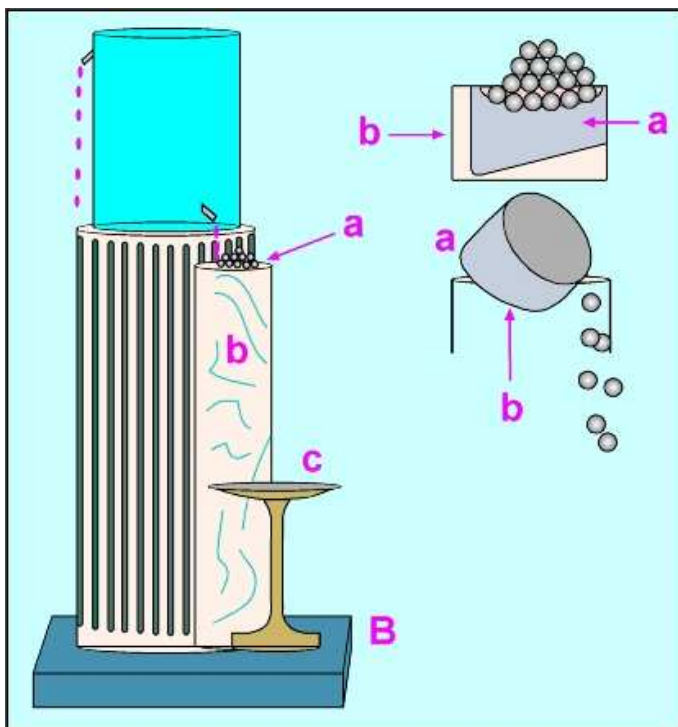
Nótese que no hablamos para nada de programación en el sentido estricto que habitualmente damos a la palabra -circunscribiéndola a la programación de computadoras- sino que la utilizamos en su sentido más amplio.

Un buen ejemplo de un sistema automático que ya aparece en la prehistoria de la humanidad son las trampas automáticas para cazar animales, como por ejemplo un pozo profundo con su boca cubierta con ramas livianas y malezas. Frente a determinadas condiciones previstas por el programador (la ubicación de una presa adecuada sobre la boca de la trampa) el sistema reacciona (se rompen las ramas de la superficie) y se produce el efecto deseado (el animal es atrapado en el pozo profundo que impide su fuga).

Nótese que el programador podía actuar a-priori sobre algunas variables para condicionar la reacción del sistema. Podía por ejemplo usar ramas más fuertes si quería presas de mayor tamaño e insensibilidad del sistema frente a piezas menores, podía agregar determinado tipo de cebo, etc.

Avanzando en la historia podemos encontrar diversos ingenios algunos de los cuales por no evidenciar utilidad práctica alguna o por el cuidado estilo puesto en su manufactura pueden ser considerados obras de arte además de mecanismos automáticos. Tal es el caso de las Clepsidras y otros relojes de agua como el Karnak aparecidos en Egipto hacia el 1400 AC.

Algunos ejemplos posteriores interesantes siguieron utilizando el agua como forma de mediatizar de modo calculable el efecto deseado. Un claro ejemplo de esto es el reloj despertador de Platón, hacia el siglo IV AC.



*Reloj despertador de Platón- Siglo IV AC*

Ya hacia el siglo III AC empezamos a ver algunos autómatas hidráulicos y neumáticos con lo que se llamó la escuela de mecánicos de Alejandría. Podemos mencionar a Ktesibios, Filón (reloj de agua y regulador flotante) y Herón (dispensador de vino) entre otros.

Muchas otras culturas se interesaron en la producción de autómatas. Las culturas orientales – especialmente la japonesa- perfeccionaron a límites extraordinarios los autómatas mecánicos (Karakur **いからくり** ), y muy particularmente los de tipo humanoide. He aquí algunos ejemplos de distintos orígenes:

- Datado hace unos 200 años, este autómatas japonés toma sucesivas flechas y las dispara una a una con su arco <https://www.youtube.com/watch?v=i5zYK9FxORl>
- Un ejemplo chino: El mago. <https://www.youtube.com/watch?v=EiLWBzxyzuk>
- The writer. Un autómatas suizo del siglo 18 que escribe con pluma y es un antecesor directo de la computadora y, en cierta forma, de la impresora. [https://www.youtube.com/watch?v=bY\\_wfKVjuJM](https://www.youtube.com/watch?v=bY_wfKVjuJM)
- Más de los creadores del autómatas anterior, Pierre y Henri-Louis Jaquet-Droz (padre e hijo) relojeros suizos de mediados del 1700: <https://www.youtube.com/watch?v=WofWNcMHcl0>
- Uno de los pocos videos que hay del desaparecido Museo del Autómatas en York, Inglaterra: <https://www.youtube.com/watch?v=SzOgsaXO7BE>

Si bien los ejemplos antes mencionados son impresionantes maravillas mecánicas, no constituyen verdaderos robots. La razón es que, aunque sus movimientos son en cierta forma "programados" mediante el uso de levas o mecanismos similares, estos se ejecutan como una simple secuencia fija, sin "conocimiento" por parte del mecanismo de si esa secuencia se viene desarrollando normalmente o no. Su ejecución completa y correcta depende de que ningún agente externo obstruya, dificulte o impida una parte del movimiento. Si apareciera una *perturbación* inesperada (y recordemos esa palabra) el resultado sería imprevisible y todo el proceso fracasaría.

El paso siguiente de la tecnología sería entonces agregar alguna clase de registro de lo que está sucediendo con el proceso (feedback), a fin de modificar el mismo en función de ello. Es lo que hoy llamamos Control.

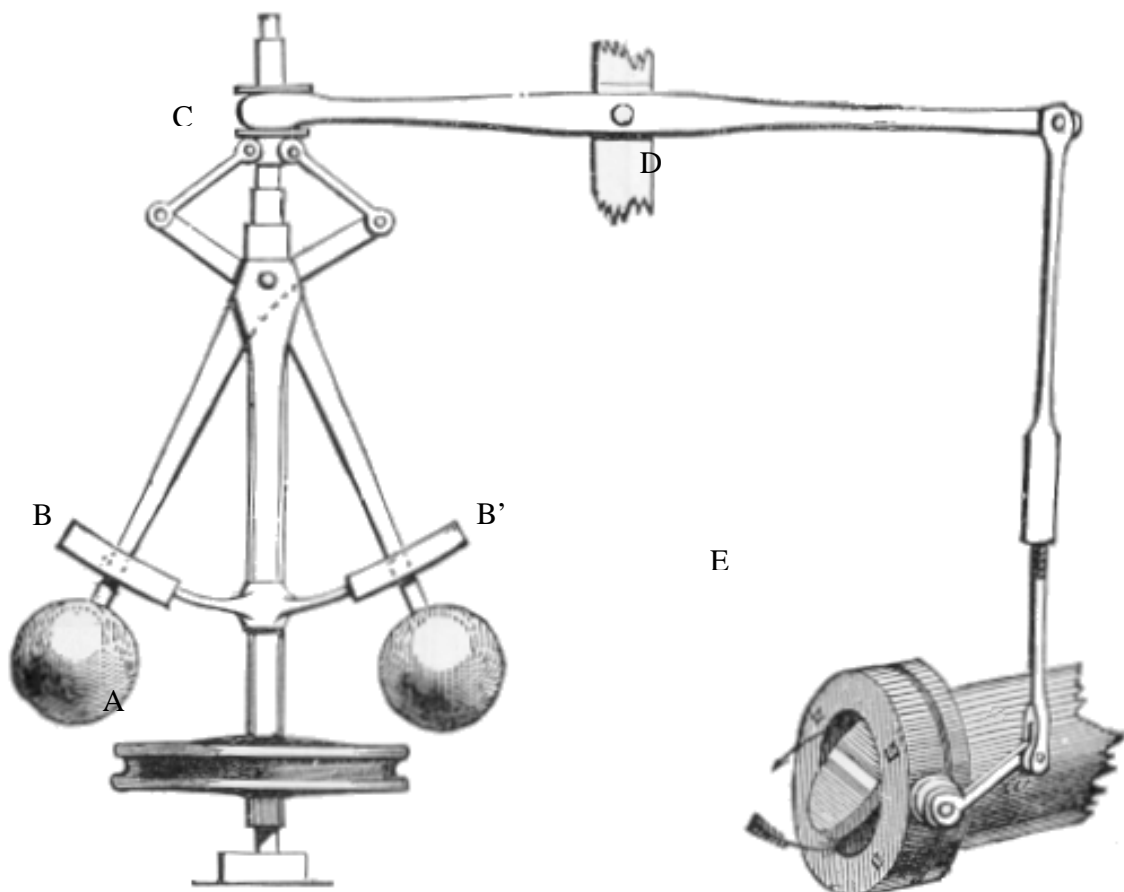
## El control por realimentación

Es así que en este mismo siglo aparecerán dispositivos con algún tipo de **realimentación** (*feedback*), es decir sistemas en los que la salida es tomada de alguna forma por la entrada para regular la misma y mantenerla estable y dentro de cierto rango deseable.

Este es el principio fundamental del control automático y volveremos en profundidad sobre el mismo muchas veces en el futuro.

Para encontrar un verdadero sistema de realimentación efectivo y de amplísima difusión tenemos que llegar hasta 1788, año en el que **Watt** inventa el famoso **regulador centrífugo de velocidad** que proporcionó el primer modo efectivo de controlar la cantidad de energía que era entregada por una máquina de vapor manteniendo constante el número de revoluciones por minuto (rpm) del eje que comandaba.

Este, hoy aparentemente sencillo, dispositivo es adoptado universalmente como el símbolo del control automático. Hacia 1868 se estima que había en servicio, sólo en el reino Unido, unos 75.000 de estos "governors", como se les dio en llamar y a ningún historiador le caben dudas de la vital importancia que tuvo este dispositivo en el vertiginoso desarrollo del mundo occidental producido a partir de su aparición considerándosele el desencadenante nada menos que de la Revolución Industrial.



*Péndulo centrífugo (Centrifugal Governor) Imagen tomada de "Discoveries & Inventions of the Nineteenth Century" de R. Routledge, 13th edition, publicada en 1900.*

El funcionamiento del dispositivo es el siguiente: Se quiere controlar la velocidad de un eje movido por una máquina de vapor. La forma de regular la velocidad en dichas máquinas es aumentando o disminuyendo la cantidad de vapor que se deja salir de la caldera hacia la turbina que hace girar el eje. Para mantener esa velocidad constante a un determinado régimen de vueltas se acopla el péndulo centrífugo al eje cuya velocidad se quiere controlar mediante una correa que lo vincula a la polea A. Cuando la velocidad de rotación del eje aumenta, también lo hace proporcionalmente la del péndulo, lo que provoca que los contrapesos B y B' tiendan a separarse por acción de la fuerza centrífuga. Esto acciona hacia abajo el deslizante C que mediante la palanca D provoca el cierre de la válvula E reduciendo el caudal de vapor que hace girar el eje, provocando así una disminución de su velocidad de rotación.

Si esta disminución es demasiada, los contrapesos tienden a cerrarse provocando ahora el efecto contrario, es decir abriendo nuevamente la válvula y aumentando la velocidad de rotación del eje. Una regulación adecuada del mecanismo permite mantener estable la velocidad de la máquina dentro del rango deseado en forma automática.

Luego de esta introducción al control automático lo abandonaremos momentáneamente para volver sobre él cuando dispongamos de más elementos y conocimientos básicos.

----- O -----

### **Diferencias de la Mecatrónica con la mecánica, la electrónica y la robótica.**

Como ya dijimos, la mecatrónica es más que la mera suma de la mecánica y la electrónica gracias a un efecto sinérgico que potencia las dos disciplinas al ser pensadas conjuntamente. Una de las manifestaciones más atractivas de los dispositivos mecatrónicos y donde más se evidencian habitualmente los componentes mecatrónicos que las animan son los robots.

Ahora bien, ¿qué son exactamente los robots? ¿Cualquier dispositivo automático es un robot?

La palabra se la debemos al autor checo Karel Kapec que la utilizó en 1920 en su obra teatral RUR (Rossum Universal Robots - <https://ebooks.adelaide.edu.au/c/capek/karel/rur/>) y deriva de la palabra checa "robota" que significa algo así como "trabajador esclavo"

Para dejar en claro cual era el concepto de Kapec al respecto, basta con citar los carteles que ya en la primera escena de la obra el autor nos deja leer en el despacho del protagonista, como supuestos carteles de promoción de la actividad de la fábrica que éste dirige:

"CHEAP LABOR. ROSSUM'S ROBOTS"

"ROBOTS FOR THE TROPICS, 150 DOLLARS EACH."

"EVERYONE SHOULD BUY HIS OWN ROBOT."

"DO YOU WANT TO CHEAPEN YOUR OUTPUT? ORDER ROSSUM'S ROBOTS":

Más allá de las cuestiones etimológicas y literarias, intentemos definir juntos qué es un robot con la ayuda de la Lógica que nos ha enseñado a construir definiciones por **género próximo** (la especie a la que pertenecen) y **diferencia específica** (lo que las distingue de las otras cosas de la misma especie).

Con el género próximo de los robots no hay mayores problemas:

**Un robot es un dispositivo mecatrónico** (al menos por ahora, hasta que los bio-mecanismos evolucionen un poco más).

Analicemos ahora si podríamos añadir la palabra **programable** en el género próximo. ¿Es ésta una característica compartida con otros dispositivos mecatrónicos que no son Robots o más bien una que los diferencia de ellos?. Eso si, ya sea que "programable" forme parte del "género próximo" o de la "diferencia específica", seguramente nadie dudará que esta palabra deba ser incluida en la definición.

¿Dónde la incluimos? Pensemos un poco más...

Un lavarropas programable no es obviamente un robot ¿Por qué?

Una de las razones principales es que no es re-programable para otra función. Los robots industriales de las líneas de montaje de automóviles, por ejemplo, se consideran robots y no simples líneas automatizadas cuando pueden reprogramarse para soldar hoy un modelo, mañana otro, etc, sin grandes cambios de accesorios o disposición física. Por lo tanto parecería muy atinado reemplazar la palabra "programable" por **re-programable**. Y ahora si no cabe duda que esta palabra es parte de la diferencia específica.

Luego podríamos introducir el concepto del propósito: "**destinado a cumplir de forma automática, precisa y confiable (sino para que lo quiero) diferentes tareas**". Y como una concesión a Carel Kapek podríamos agregar: "**demasiado pesadas, incómodas, riesgosas o aburridas para ser realizadas por seres humanos**". Seguramente caben más adjetivos para las tareas pero prefiero dejarlos ahí.

Nuestra definición por género próximo y diferencia específica quedaría entonces:

**"Un robot es un dispositivo mecatrónico re-programable destinado a cumplir de forma automática, precisa y confiable diferentes tareas demasiado pesadas, incómodas, riesgosas o aburridas para ser realizadas por seres humanos"**

En el término "confiable" esta definición contempla la existencia de alguna forma de sentido del mundo físico y la realimentación de esa información al sistema. Un mero autómatas no es confiable ya que no tiene registro de las perturbaciones que afectan su desempeño.

Probablemente valga la pena también intentar avanzar un poco más sobre el punto "**automático**" y posiblemente descomponerlo especificando mejor el grado de autonomía e independencia que debe tener un robot para ser considerado tal, así como si necesariamente debe ser capaz o no de desplazarse a su "voluntad" en el espacio físico pero por ahora nos conformaremos con esta definición, que al menos deja claro que la definición de robot es mucho más restrictiva que la de los dispositivos mecatrónicos y por lo tanto que esta disciplina abarca completamente a la robótica.

## **Mecatrónica, Robótica y su vinculación con el arte.**

### **Algunos artistas referentes**

**Stelarc** es un artista y *performer* australiano célebre por sus exoesqueletos y sus interfaces hombre-máquina. Utiliza recursos tecnológicos varios como imágenes médicas, dispositivos protésicos y robóticos, realidad virtual, etc. y son dignos de ver algunos trabajos como su **Walking Machine** de 1998, un dispositivo neumático caminante que lo transportaba a modo de exoesqueleto. O la segunda versión de esta obra denominada **Muscle Machine**, un engendro móvil de casi 5 metros de diámetro.  
<http://stelarc.org>

**Marcel.li Antúnez Roca** es un artista Catalán pionero en el uso de la robótica y la mecatrónica. Ya en 1992 presentó a **Joan, L'home de carn** un robot interactivo construido con cueros de cerdo y de vaca y animado con motores de limpiaparabrisas que reaccionaba a las acciones y sonidos del público con



animación de su cuello, hombros, codo y pene, en una extraña paradoja entre lo robótico y lo biológico. <http://www.marceliantunez.com/>

**Eduardo Kac** es brasileño y si bien lo primero que viene a la mente al mencionarlo es su trabajo en Arte transgénico, probablemente gracias a la difundidísima imagen de Alba, el verde y fluorescente conejo que ha creado, igual de importante es su trabajo en el campo de la telepresencia y la piezas biotelemáticas. Por mencionar solo alguna, podemos citar aquí **Rara Avis** de 1996 -una especie de papagayo a través de cuyos ojos podía el espectador verse a si mismo mediante antojos de realidad virtual- o el **Proyecto Ornitorrinco**, cuyos antecedentes se remontan a un robot teledirigido construido por Cristovão Batista da Silva y presentado en "Brasil High Tech" en 1986. <http://www.ekac.org>

Son precisamente también obra de Kac los artículos que citamos a continuación, el primero de ellos es una interesante nota sobre el origen y desarrollo del arte robótico: **Origin and development of robotic art** (<http://www.ekac.org/roboticart.html>) y el segundo una exhaustiva cronología de las obras más representativas en este campo: **Robotic Art Chronology** (<http://www.ekac.org/robotichronology.html>)