CEREMONIA DE ENTREGA DE LOS
GALARDONES DE INGENIERO LAUREADO

Las Coordenadas Naturales: Origen y Circunstancias

Preparado por Javier García de Jalón

Presentado por Javier Cuadrado

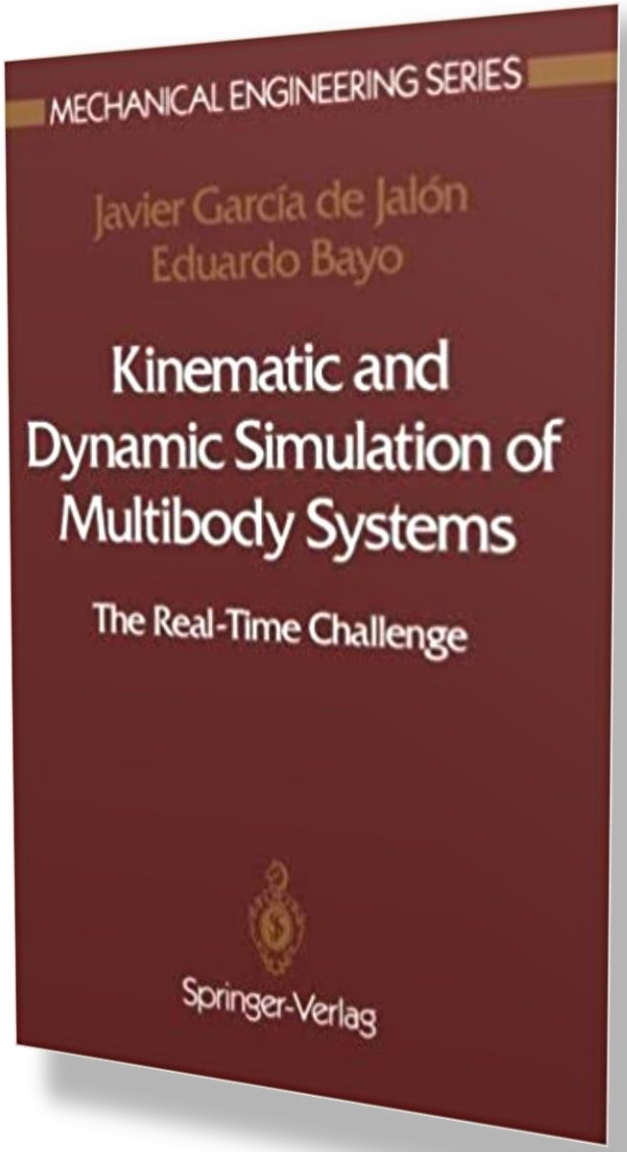
Contenido de esta presentación

Deo omnis gloria!

- El compendio de los trabajos 1979-94.
- Solución Clásica para las Coordenadas Multicuerpo
- ¿Qué son las Coordenadas Naturales?
- Circunstancias antecedentes
- Origen de las Coordenadas Naturales 2-D
- Evolución de las Coordenadas Naturales
- Modelo Multicuerpo de un Robot
- Ejemplos
- Circunstancias posteriores
- Gráficos realistas 3-D
- Viajes a Sevilla (1987) y a la ESA en Holanda (1988)
- Algunas animaciones de finales de los años 80
- JJOO de 1992 en Barcelona
- Motivos de los Reconocimientos Recibidos
- Agradecimientos

El compendio de los trabajos 1979-1994

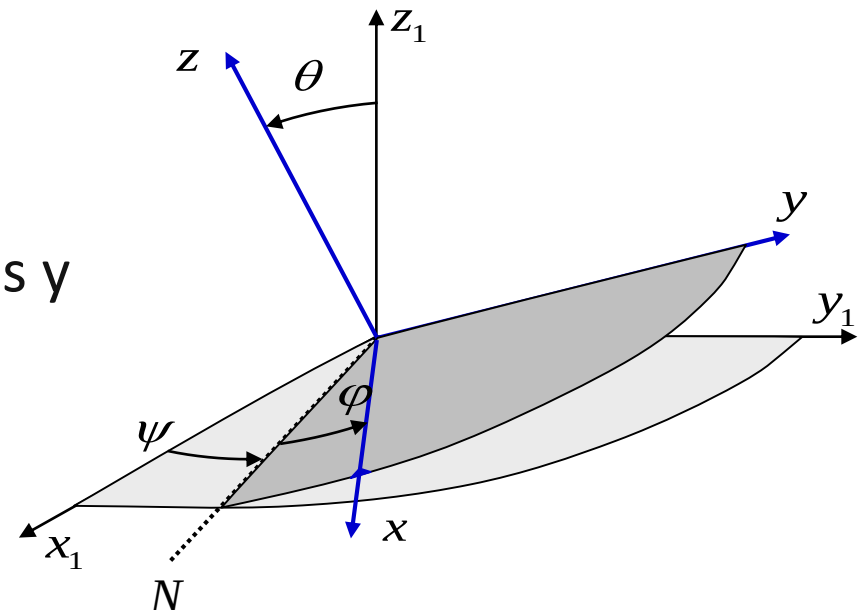
- Libro publicado por Springer-NY en 1994
  - Escrito en colaboración con Eduardo Bayo.
  - Recoge contribuciones de Bilbao, San Sebastián y Santa Barbara (California).
  - Los primeros capítulos contienen una amplia descripción de las coordenadas naturales.
  - Los últimos capítulos tratan de temas avanzados: simulación en tiempo real, mecanismos con elementos flexibles, rozamiento, análisis de sensibilidad, control de robots flexibles, …
  - Se ha vuelto a reimprimir en 2011.

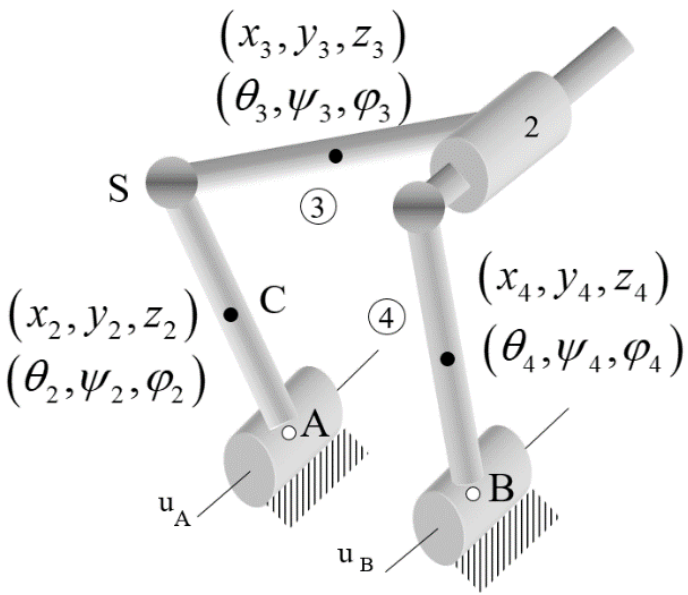


Solución Clásica para las Coordenadas Multicuerpo

Deo omnis gloria!

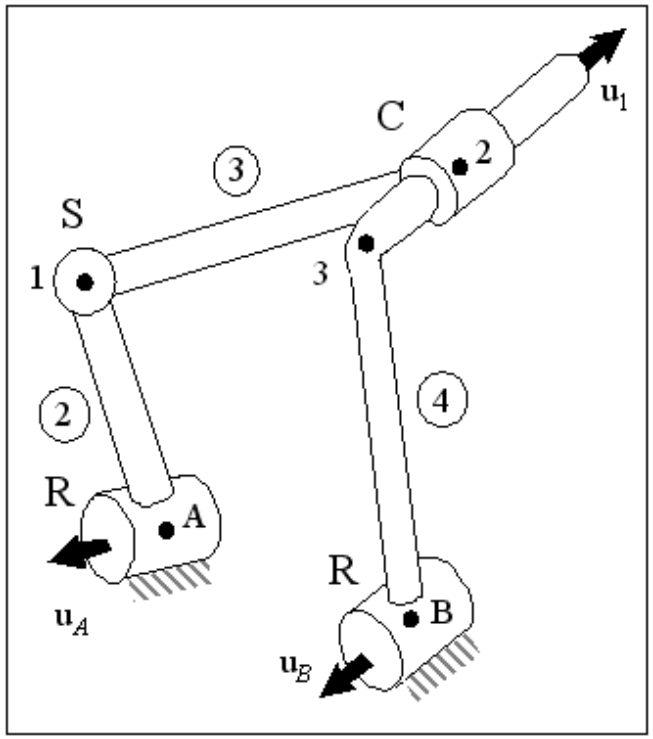
- Cada sólido se define con 6 parámetros: 3 coordenadas de un punto y 3 ángulos de Euler.
- El sistema de la figura tiene 3 sólidos y necesita 3 x 6= 18 coordenadas.
- Los pares cinemáticos limitan el movimiento de los elementos que unen.
- Cada par genera tantas ecuaciones como grados de libertad restringe: 17 en total.
- Las ecuaciones de restricción son bastante complicadas y no se representan aquí.





¿Qué son las Coordenadas Naturales?

Deo omnis gloria!



- Una nueva forma de definir la posición y orientación de sólidos rígidos 3-D.
- Utiliza coordenadas cartesianas de puntos y componentes de vectores unitarios.
- Al menos dos puntos y un vector por sólido.
- Los puntos y vectores de un cuerpo deben cumplir la condición de sólido rígido.
- Algunos pares entre sólidos se definen compartiendo puntos y/o vectores.
- Otros pares necesitan ecuaciones adicionales.
- Algunas ventajas: ecuaciones de restricción cuadráticas, matrices de inercia constantes sin fuerzas de inercia dependientes de la velocidad, sin transformaciones de coordenadas, fáciles de representar muy adecuadas para síntesis y optimización.
- Fruto de un proceso y de unas circunstancias, no una idea genial…

Circunstancias Antecedentes

Deo omnis gloria!

- Hacia 1970 los ordenadores se introducen en la investigación y la docencia.
- Asistencia a un Seminario sobre programación FORTRAN (Nov. 1969).
  - Con un IBM 1620, que “me deslumbra”
  - Determina mi orientación futura
- Impartición de dos asignaturas en las que interviene el ordenador(1973-77).
  - “Teoría de Estructuras”, incluyendo análisis matricial
  - “Programación y Métodos Numéricos”

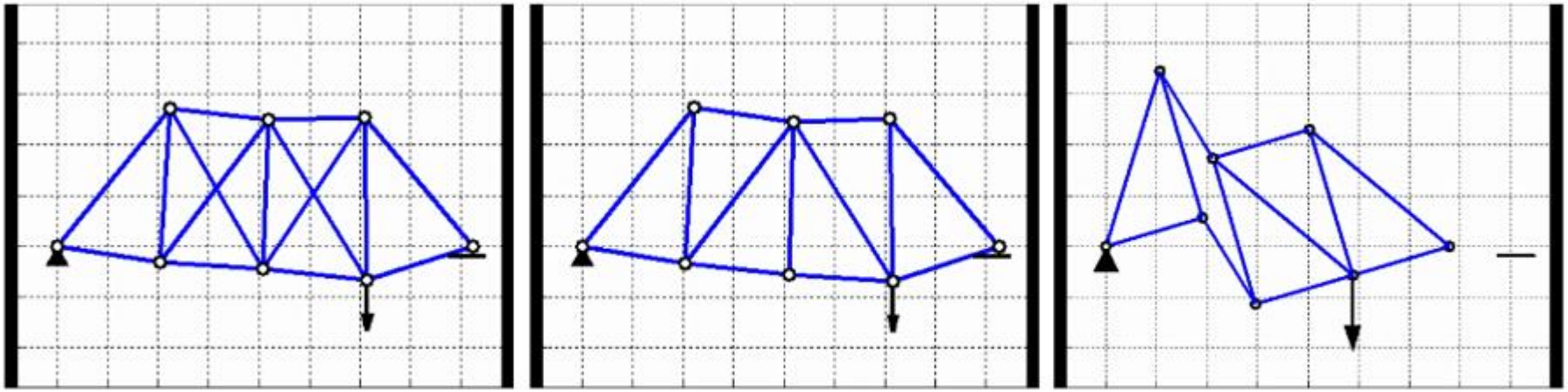
IBM 1620, 1965-75, 50 ops

HP 1000, 1975-82, 20.000 ops

Origen de las Coordenadas Naturales 2-D

Deo omnis gloria!

- 1973-77: se imparte “Teoría de Estructuras” y “Programación y Métodos Numéricos” en la ETSII San Sebastián.
- 1978-1980: se imparte “Cinemática y Dinámica” en la ETSII Bilbao.
- Urgencia por desarrollar una investigación sobre mecanismos.



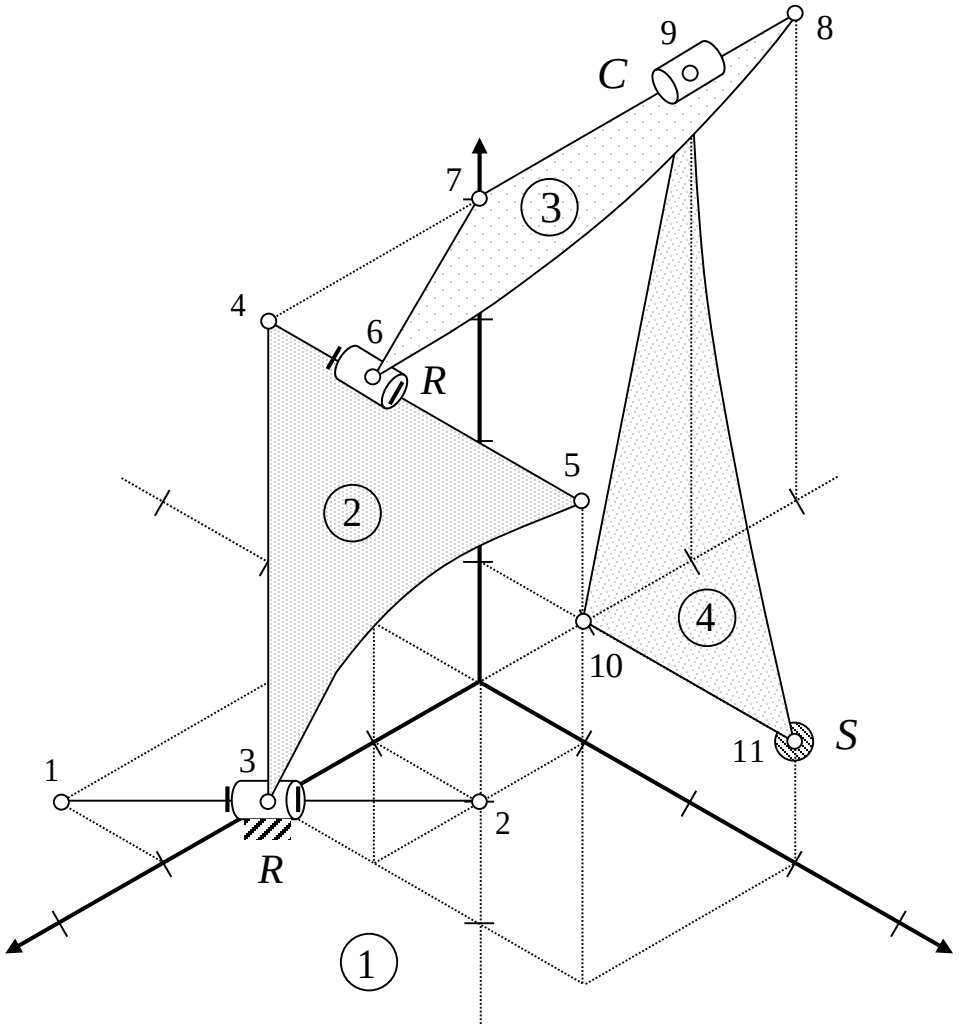
Hiperestática Isostática Inestable

- Una estructura inestable es un mecanismo que se mueve sin fuerzas.
- La matriz de rigidez tiene el mismo núcleo que la Jacobiana de las restricciones de distancia constante $(\mathbf{Kx} = \mathbf{0})$.
- ¡Ha aparecido un nuevo método de análisis en la ignorancia de los existentes!

Evolución de las Coordenadas Naturales

Deo omnis gloria!

- Se elimina la matriz de rigidez **K** y se plantean directamente las ecuaciones de restricción.
- Se realiza la extensión a sistemas 3-D.
  - Cada sólido tiene al menos 3 puntos no alineados
  - Restricciones geométricas de distancia, área y volumen constantes.
- El método se extiende a problemas dinámicos.
- Los vectores unitarios se introducen para definir direcciones (1984).



Ejemplo 1: Modelo Multicuerpo de un Robot

Deo omnis gloria!

Elem. 2
$$\begin{cases} (x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2-d_{12}^2=0 \\ (x_2-x_1)u_{1x}+(y_2-y_1)u_{1y}+(z_2-z_1)u_{1z}=0 \\ u_{1x}^2+u_{1y}^2+u_{1z}^2-1=0 \\ u_{1z}=0 \end{cases}$$

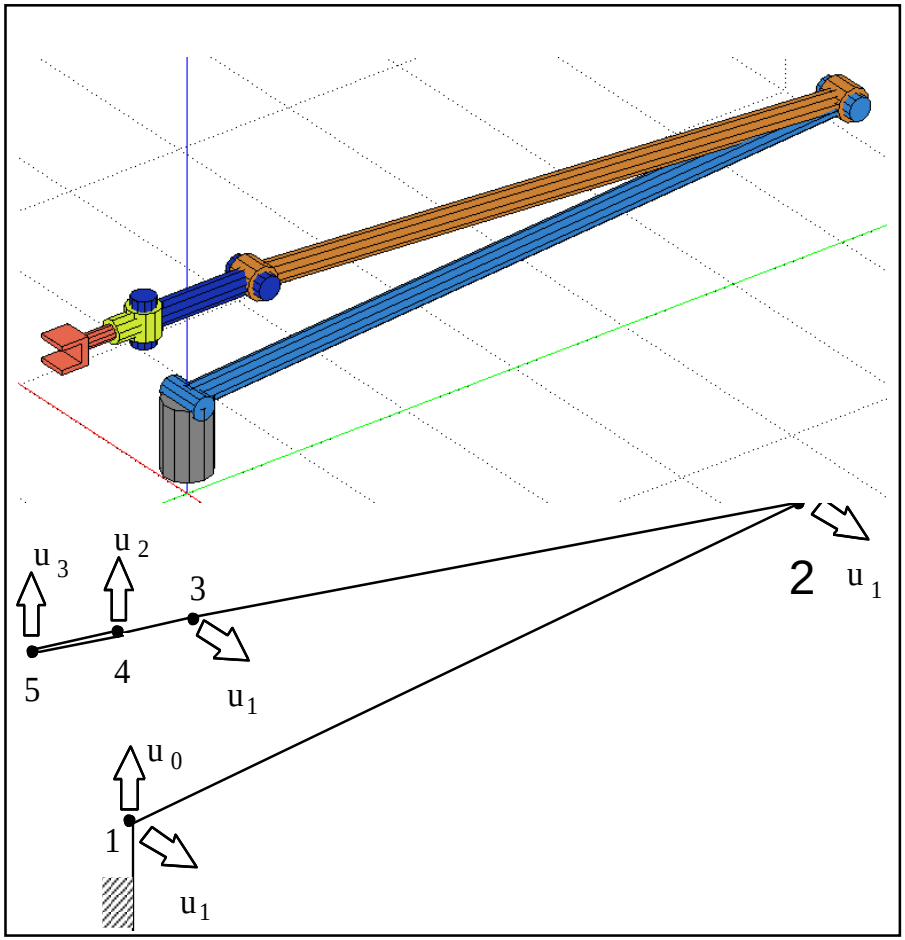
Elem. 3
$$\begin{cases} (x_3-x_2)^2+(y_3-y_2)^2+(z_3-z_2)^2-d_{23}^2=0 \\ (x_3-x_2)u_{1x}+(y_3-y_2)u_{1y}+(z_3-z_2)u_{1z}=0 \end{cases}$$

Elem. 4
$$\begin{cases} (x_4-x_3)^2+(y_4-y_3)^2+(z_4-z_3)^2-d_{34}^2=0 \\ (x_3-x_4)u_{1x}+(y_3-y_4)u_{1y}+(z_4-z_3)u_{1z}=0 \\ (x_3-x_4)u_{2x}+(y_3-y_4)u_{2y}+(z_4-z_3)u_{2z}=0 \\ u_{2x}u_{1x}+u_{2y}u_{1y}+u_{2z}u_{1z}=0 \\ u_{2x}^2+u_{2y}^2+u_{2z}^2-1=0 \end{cases}$$

Elem. 5
$$\begin{cases} (x_5-x_4)^2+(y_5-y_4)^2+(z_5-z_4)^2-d_{45}^2=0 \\ (x_5-x_4)u_{2x}+(y_5-y_4)u_{2y}+(z_5-z_4)u_{2z}=0 \end{cases}$$

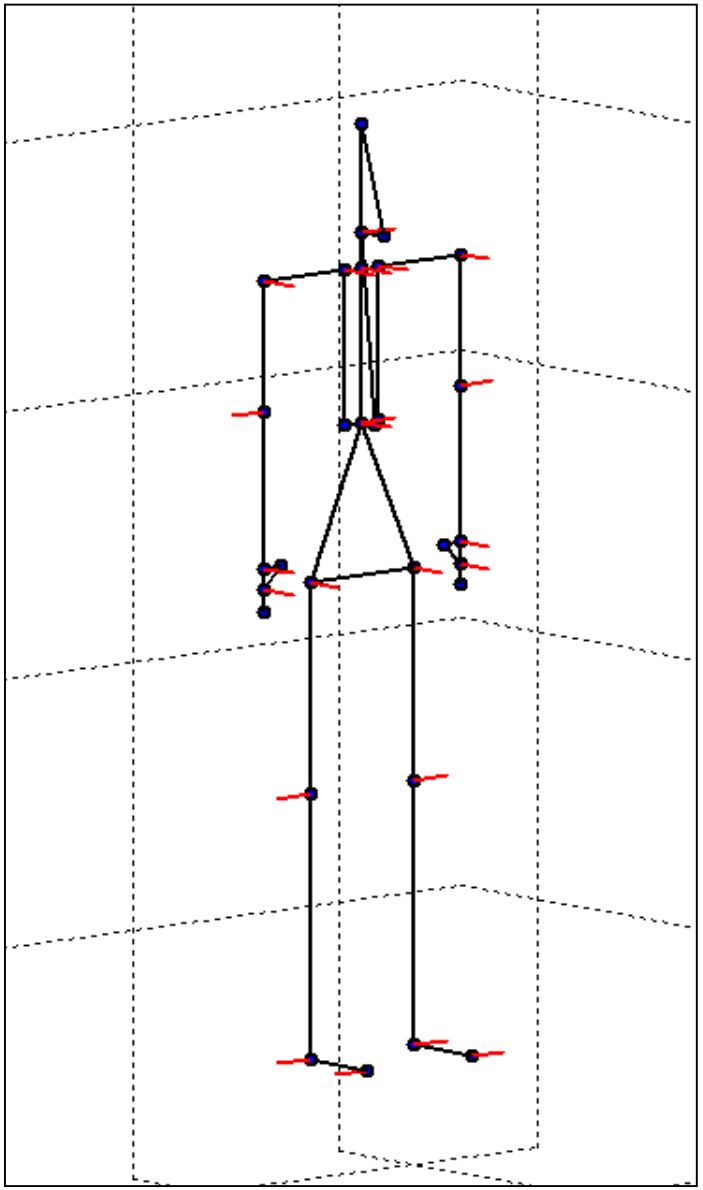
Elem. 6
$$\begin{cases} (x_5-x_4)u_{3x}+(y_5-y_4)u_{3y}+(z_5-z_4)u_{3z}=0 \\ u_{3x}^2+u_{3y}^2+u_{3z}^2-1=0 \end{cases}$$

21 coordenadas y 15 restricciones:
$\mathbf{r}_2$, $\mathbf{r}_3$, $\mathbf{r}_4$, $\mathbf{r}_5$, $\mathbf{u}_1$, $\mathbf{u}_2$ y $\mathbf{u}_3$



Ejemplo 2: Modelo MC del cuerpo humano 1/2

- Modelo del CUERPO HUMANO
  - La Figura muestra un modelo con 37 grados de libertad y 159 coordenadas dependientes.
  - Los movimientos del tronco y extremidades se definen respecto a las caderas mediante coordenadas relativas.
- Coordenadas naturales
  - Este modelo tiene 30 puntos y 23 vectores unitarios.
  - Las coordenadas relativas son los ángulos en las articulaciones.



Ejemplo 2: Modelo MC del cuerpo humano 2/2

- Ejemplo: definición de una pierna:
  - Puntos 9, 25 y vectores 15, 16 forman un sólido rígido:

$$(\mathbf{r}_9^T - \mathbf{r}_{25}^T)(\mathbf{r}_9 - \mathbf{r}_{25}) - d_{9,25}^2 = 0$$

$$\mathbf{u}_{15}^T(\mathbf{r}_9 - \mathbf{r}_{25}) = 0$$

$$\mathbf{u}_{16}^T(\mathbf{r}_9 - \mathbf{r}_{25}) = 0$$

  - Puntos 25, 26 y vectores 16, 17 forman un sólido rígido :

$$(\mathbf{r}_{25}^T - \mathbf{r}_{26}^T)(\mathbf{r}_{25} - \mathbf{r}_{26}) - d_{25,26}^2 = 0$$

$$\mathbf{u}_{16}^T(\mathbf{r}_{25} - \mathbf{r}_{26}) = 0$$

$$\mathbf{u}_{17}^T(\mathbf{r}_{25} - \mathbf{r}_{26}) = 0$$

  - Puntos 26, 27 y vectores 17, 18 forman un sólido rígido :

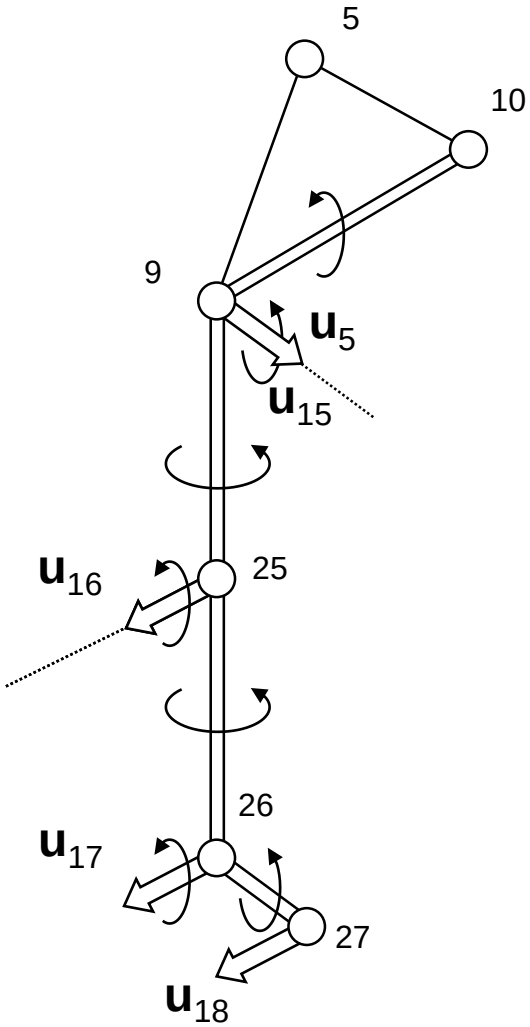
$$(\mathbf{r}_{26}^T - \mathbf{r}_{27}^T)(\mathbf{r}_{26} - \mathbf{r}_{27}) - d_{26,27}^2 = 0$$

$$\mathbf{u}_{17}^T(\mathbf{r}_{26} - \mathbf{r}_{27}) = 0$$

$$\mathbf{u}_{18}^T(\mathbf{r}_{26} - \mathbf{r}_{27}) = 0$$

  - En ocasiones se restringe el giro del pie:

$$\mathbf{u}_{17} \times \mathbf{u}_{18} = 0$$



Circunstancias posteriores

- 1986: Proyecto de gráficos con CASA (Construcciones Aeronáuticas S.A.) para la ESA (European Space Agency).
- 1987: Se adquiere la primera estación de trabajo gráfica 3-D (nueva generación de ordenadores).
- 1987: IFtóMM World Congress on Machines and Mechanisms en Sevilla.
- 1988-92: JJOO de Barcelona (Proyectos de Biomecánica).
- 1992: El Tour de Francia empieza en San Sebastián (Jornadas de Biomecánica Ciclista).
- 1989-91: Proyecto de gráficos avanzados para la ESA.
- 1989-92: Trabajos para otras empresas (ENASA, DORNIER, Mechanical Dynamics Inc.).

Gráficos realistas 3-D

- Necesarios para comprender movimientos de gran amplitud, para impactos y colisiones, etc.
- Circunstancias sobre los gráficos realistas.
  - En 1987 HP presenta la HP 320SRX su primera estación gráfica 3-D. Se adquiere con un 80% de descuento.
  - En IX-1987 la HP 320SRX se presenta con programas propios en el VII IFtóMM Congress de Sevilla. Surgen invitaciones de distintas universidades europeas.
  - En XI-1988 se presenta en la ESA (Holanda).
- En V-1988 se adquiere con un 50% de descuento una SGI 4-D/240 GTX para un proyecto con la ESA.
  - Familia de Estaciones de trabajo utilizada para “Jurassic Park” (1993).

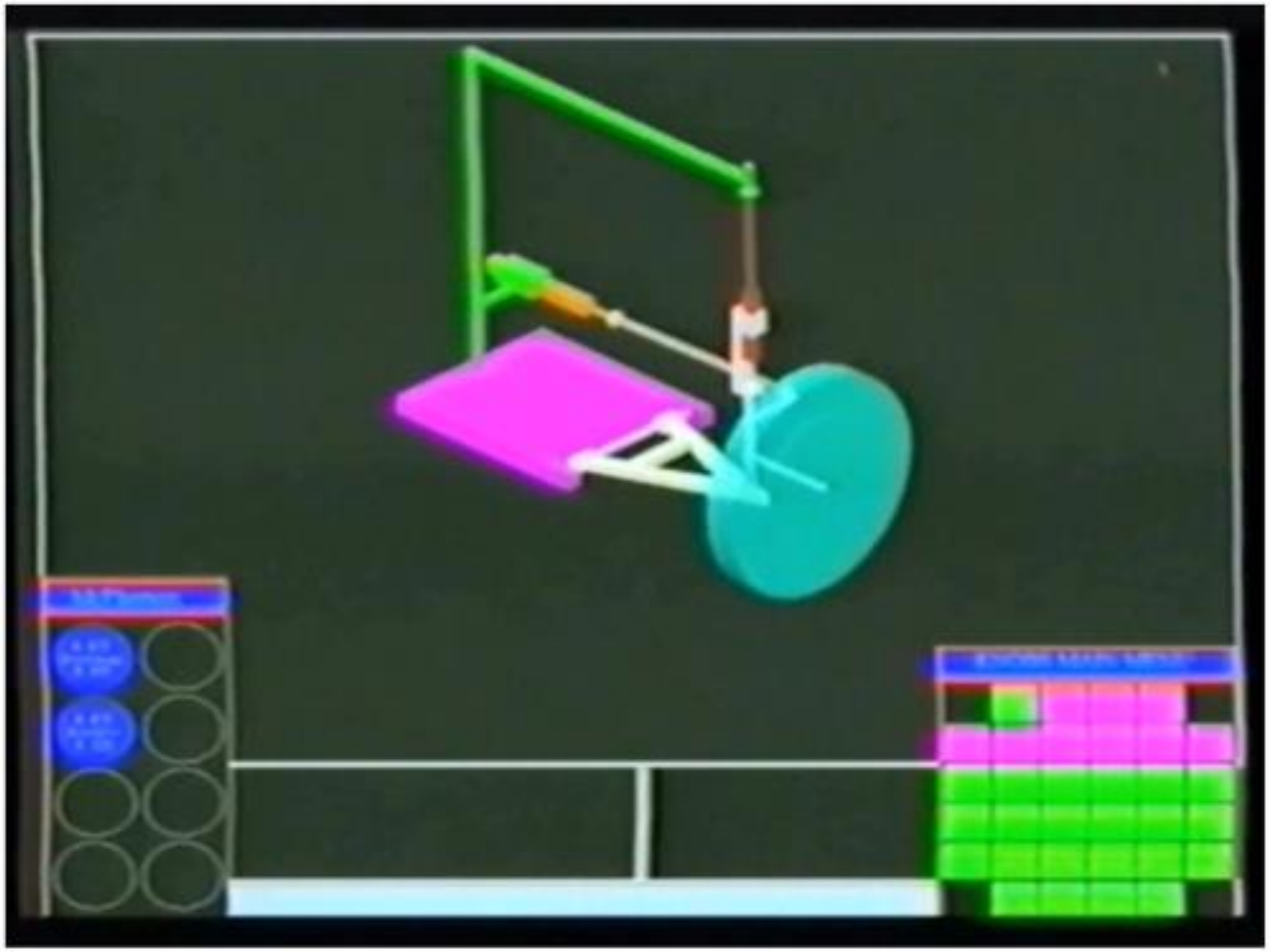
Viaje al Congreso del IFTóMM de Sevilla (1987)

Viaje a la ESA con la HP 320SRX (XI-1988)

Deo omnis gloria!

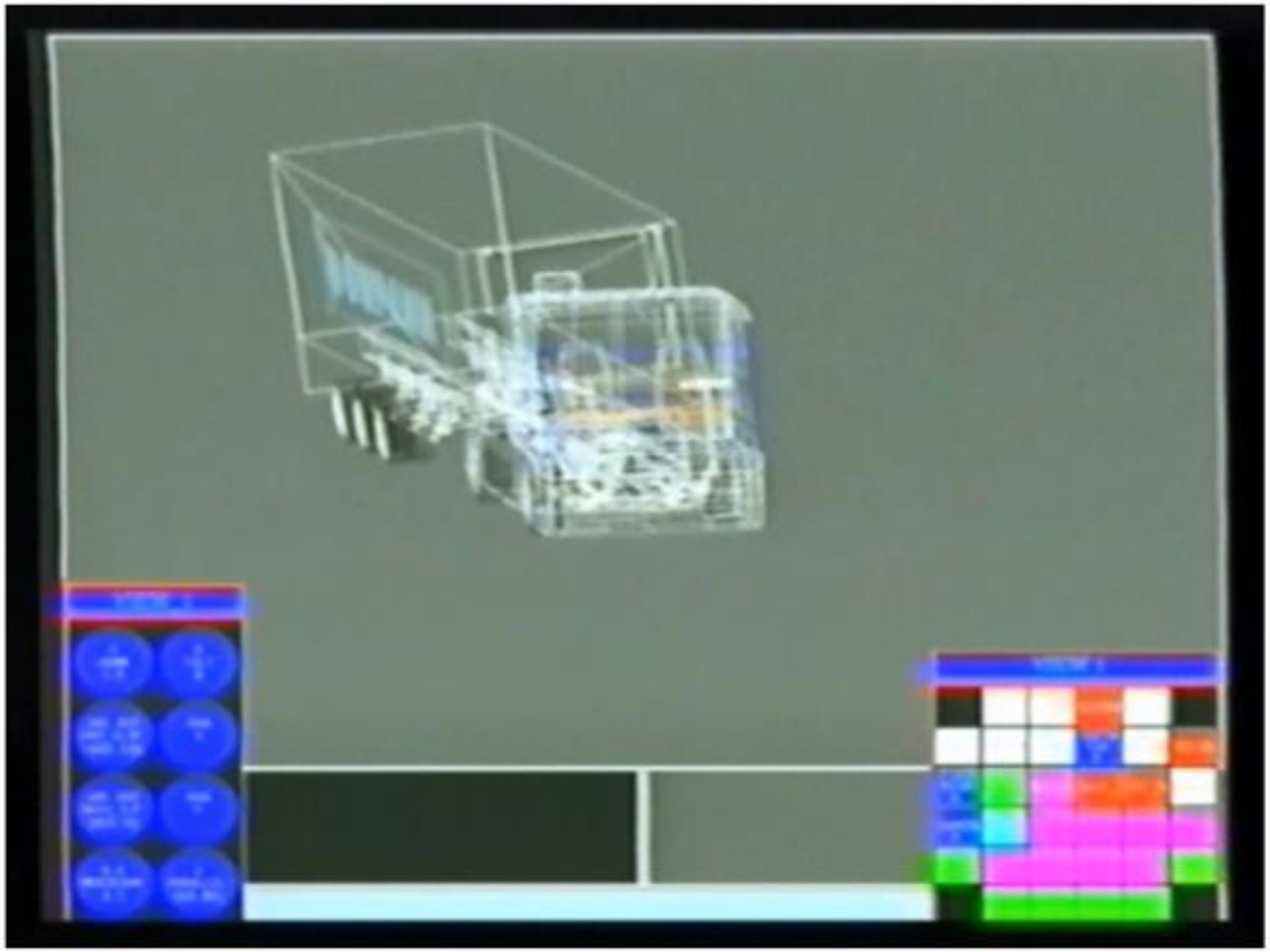
Algunas animaciones de finales de los años 80

- Ejemplos muy antiguos:
  - Cinemática de un sistema de suspensión y dirección.



Algunas animaciones de finales de los años 80

- Ejemplos muy antiguos:
  - Cinemática de un sistema de suspensión y dirección.
  - Modelo completo de un camión.

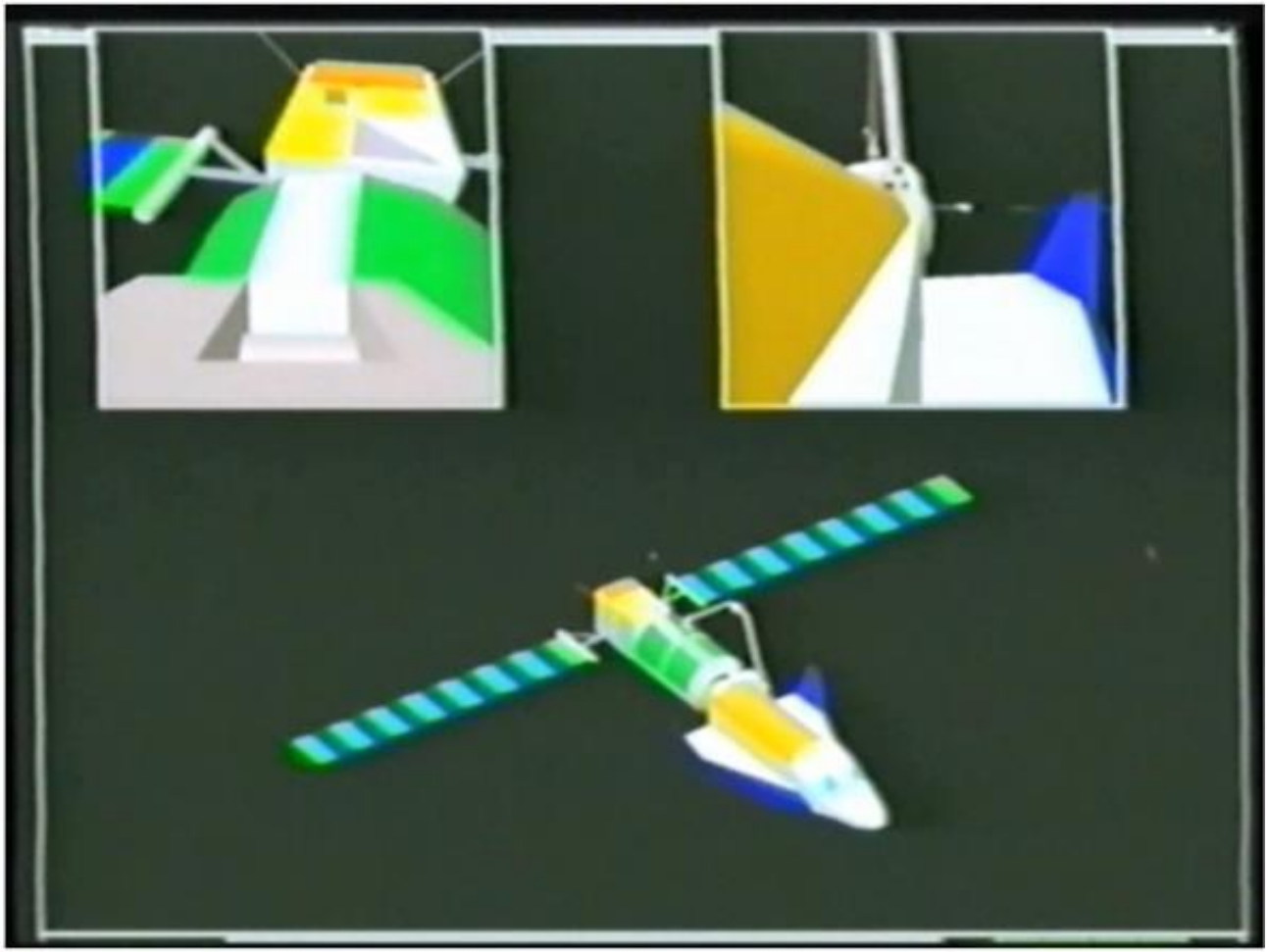


Algunas animaciones de finales de los años 80

- Ejemplos muy antiguos:
  - Cinemática de un sistema de suspensión y dirección.
  - Modelo completo de un camión.
  - Despliegue de una antena espacial.

Algunas animaciones de finales de los años 80

- Ejemplos muy antiguos:
  - Cinemática de un sistema de suspensión y dirección.
  - Modelo completo de un camión.
  - Despliegue de una antena espacial.
  - Simulación dinámica de maniobra espacial.

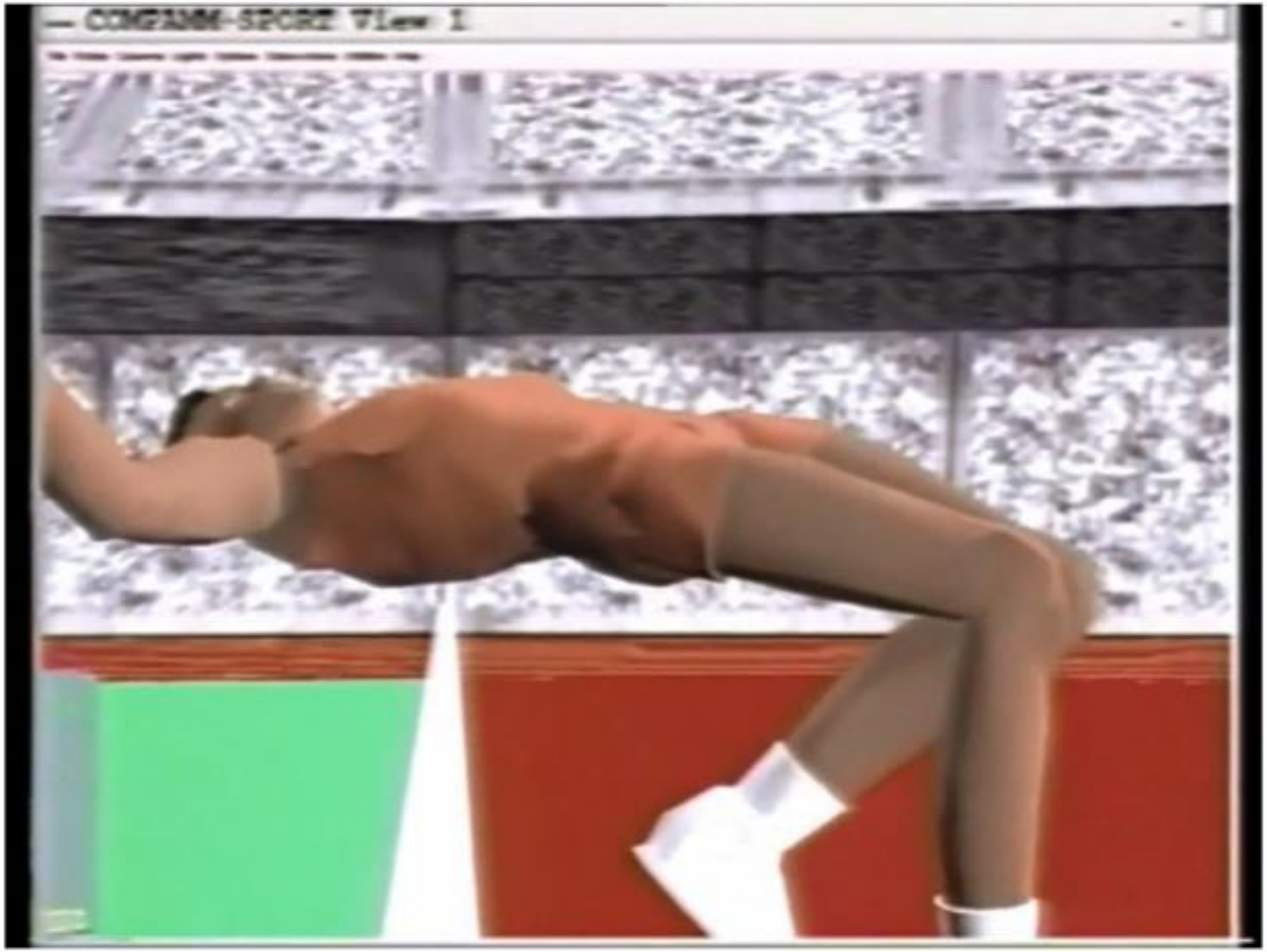


Juegos Olímpicos de 1992 en Barcelona 1/3

- ABAT'92: Análisis Biomecánico de Alta Tecnología (1988-1992).
  - Desarrollado con el CAR (Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat)
  - Proyecto orientado al análisis biomecánico de atletas, basado en captura de datos, análisis del movimiento y gráficos con ordenador.
- Se estudiaron dos deportes: atletismo y gimnasia.
- Procedimiento de trabajo seguido:
  - Las pruebas se filman con varias cámaras sincronizadas.
  - Las imágenes se digitalizan manualmente durante la noche.
  - Los datos resultantes se filtran se enmarcan en un escenario, y se pasan a cintas de video profesional por la mañana.
  - Las imágenes finales se emitieron en algunos de los noticiarios de mediodía (demasiado tarde…).
- Se van a mostrar algunas imágenes emitidas por cadenas de TV.

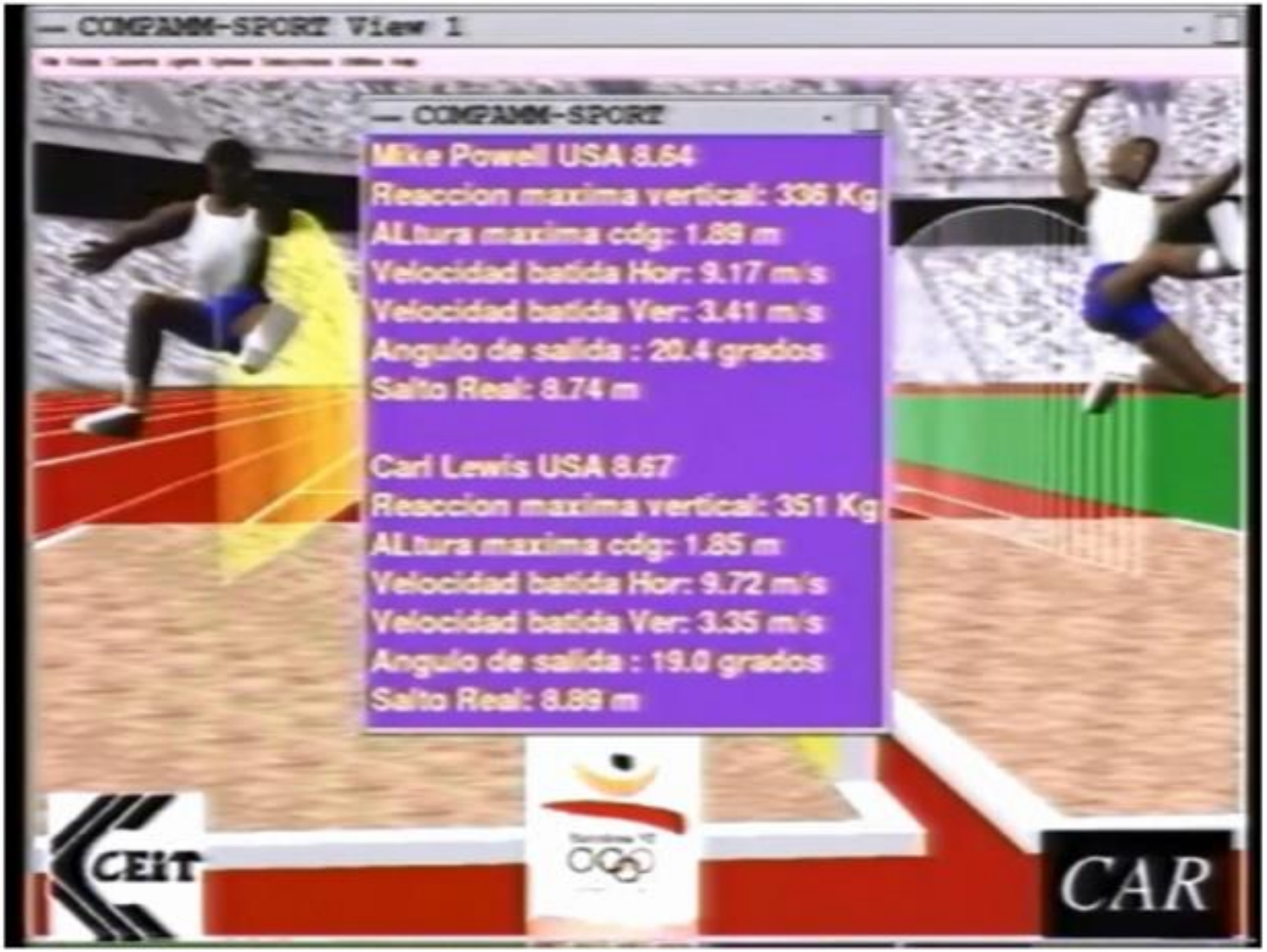
Juegos Olímpicos de 1992 en Barcelona 2/3

- Salto de altura: Javier Sotomayor



Juegos Olímpicos de 1992 en Barcelona 3/3

- Salto de longitud: Lewis vs. Powell



Motivos de los Reconocimientos Recibidos

Deo omnis gloria!

- IFTóMM Award of Merit 2011
  - *"Recognizes an exceptionally significant achievement in the science of machines and mechanisms".*
- ASME D'Alembert Award 2011
  - "*In recognition of a Lifetime of outstanding teaching and practice of Multibody Dynamics and pioneering contributions*".
- Sólo con gran benevolencia se me pueden aplicar los motivos anteriores, que nunca pretendí ni imaginé que podría alcanzar.
- Ingeniero Laureado de la RAI
  - *"A aquellos ingenieros y arquitectos que hayan realizado una actividad profesional que se puede considerar como referente y modelo para suscitar la vocación técnica de las nuevas generaciones"*
- También este galardón ha sido inesperado y generoso, pero ser un cierto referente siempre fue un objetivo en mi carrera universitaria

Referente al menos para el autor de este poema

UNAV UPV/EHU UPM

OTRO GRANDE SE ME VA

Oda a Javier García de Jalón de la Fuente

Por Jacky Jones

Otro grande se va,
Se lo lleva una vez más,
la enfermedad.

¿Cuántos corazones
has hecho latir?
¿Qué grandes sonrisas
has hecho surgir?
¿Cuánta vida, cuánta
cuánta vida has dado?
¿Cuánta vida siempre,
siempre has regalado?

Aquellos momentos
contigo vividos
están tan presentes
nunca los olvido.

Aquellos momentos,
aquellas matrices.
Aquel gozo interno
de aprender el álgebra,
la ciencia y la vida,
los juegos del alma.

¡Oh Jalón, Oh grande
Oh mi Gran Maestro!

Gracias por amarnos
en todos tus gestos.
Gracias por ser grande,
y a la vez, pequeño.
Gracias yo repito
Gracias yo le canto
mil veces al viento.

Gracias porque a todos
nos diste el aliento.
Nos diste la calma,
nos diste la llave.
Nos diste la llama,
nos diste el veneno.
Nos diste el motivo,
abriste un camino,
regaste un sendero.

Hoy gracias a aquello
muchos recorremos
sin saber por qué
un dulce misterio.

Miramos atrás
y ahí estás tú
oh grande

¡Oh Jalón, Oh grande
Oh mi Gran Maestro!

AGRADECIMIENTOS

Deo omnis gloria!

- **A mis padres y hermanos**, que crearon el hogar feliz en el que crecí.
- **A mis maestros y profesores**, que con su trabajo y su ejemplo me ayudaron a dar lo mejor de mí mismo.
- **A mis compañeros y colegas**, cuya ayuda ha sido siempre esencial.
- **A mis alumnos y discípulos**, que han sido también grandes amigos.
- **A mis amigos**, que me han hecho la vida mucho más grata.
- **Al Presidente y a los Miembros de la Real Academia de Ingeniería**, por la generosa concesión de este galardón.
- **Al Opus Dei**, mi familia sobrevenida desde los 17 años, que me ayudó a trabajar bien, y que con tanto cariño me cuida en mi enfermedad.
- **A mi padre Dios**, que ha hecho posible todo lo anterior escribiendo con gran amor el guión de mi vida.

¡Muchas gracias a Vdes. por su atención!

Gracias también a Ignacio Avila por preparar estas transparencias

y a Javier Cuadrado por presentarlas