



Universidad
Carlos III de Madrid



Integración de Planificación de Alto Nivel, Ejecución y Percepción en Robots Autónomos

José Carlos González Dorado

Tutor: Fernando Fernández Rebollo

Trabajo de Fin de Máster



Índice

1. Introducción
2. Arquitectura NAOTherapist
3. Diseñador de terapias
4. Componente Ejecutivo
5. Reconocedor de expresiones faciales
6. Conclusiones y trabajo futuro

Introducción

- Parálisis Cerebral y Parálisis Braquial
 - Grave **debilidad en los brazos**
 - Impide vestirse, comer, etc.
 - Niños mejoran con **rehabilitación**
- Sesiones muy largas y repetitivas
 - Los pacientes pueden perder interés
 - Mucho tiempo de personal médico
- **Robots autónomos sociales terapeutas**
 - Estimulan a los pacientes
 - Pueden capturar variables clínicas



Objetivos

1. Arquitectura cognitiva

- Para un robot terapeuta autónomo

Planificación

2. Diseñador automático de terapias

- Rehabilitación mejor ajustada al paciente

Ejecución

3. Componente Ejecutivo

- Que dirija la ejecución de toda la arquitectura

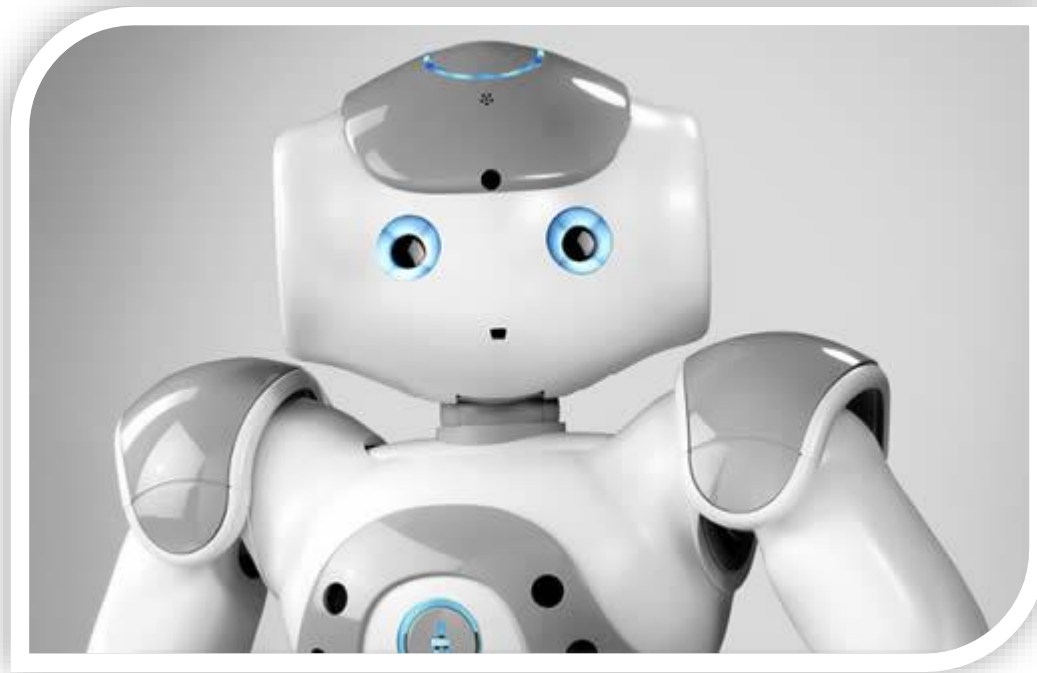
Percepción

4. Reconocimiento de expresiones faciales

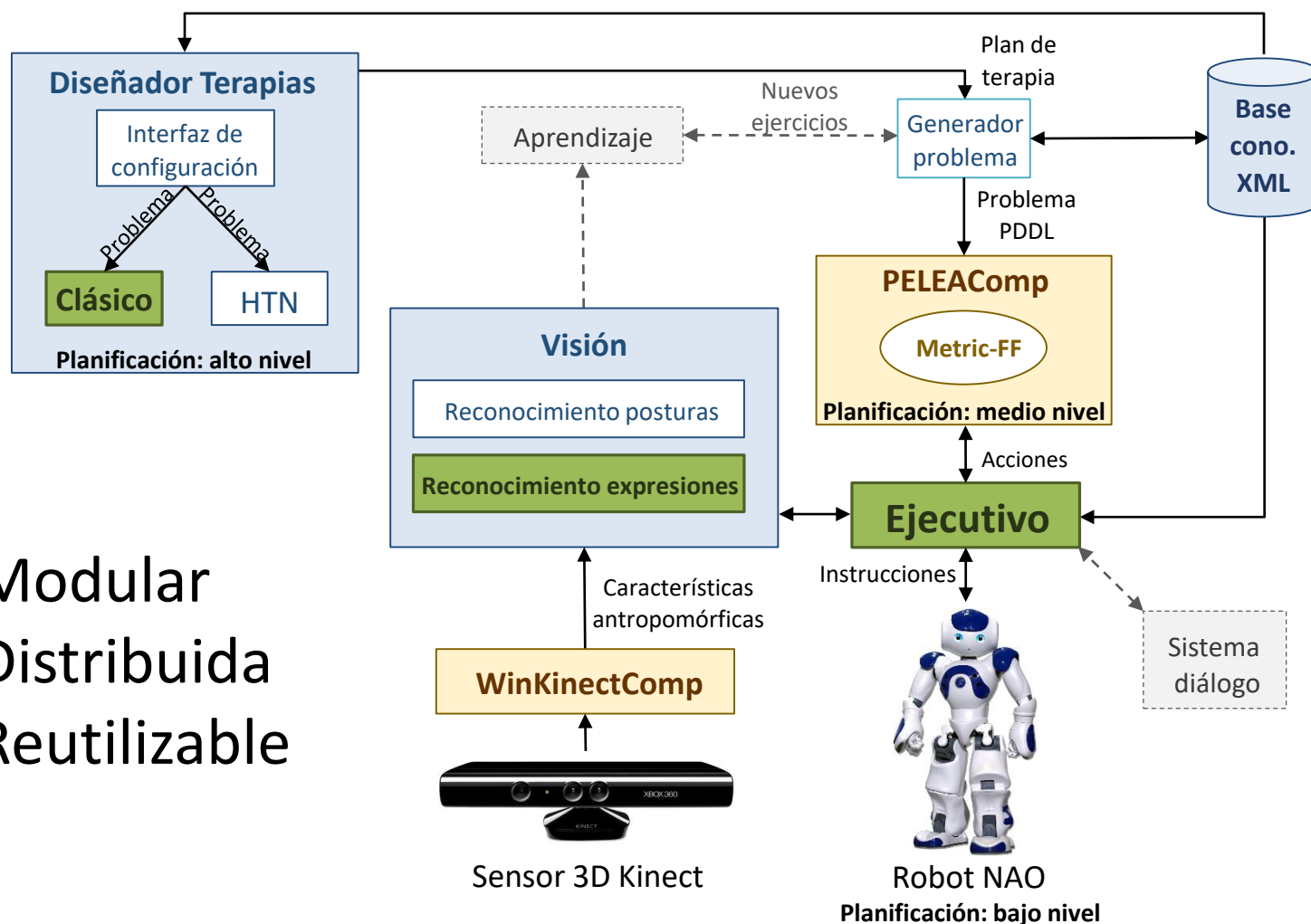
- Mejorar habilidades sociales del robot

Acciones	Qué se planifica
Alto nivel	Sesiones de terapia (ejercicios)
Medio nivel	Control de una sesión (comportamientos)
Bajo nivel	Movimientos robot (caminos)

ARQUITECTURA



Arquitectura NAOTherapist



- Modular
- Distribuida
- Reutilizable

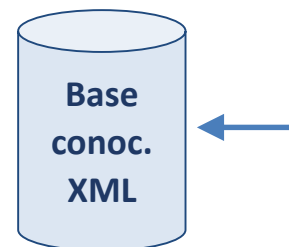
DISEÑADOR DE TERAPIAS



Diseñador de terapias

- Utiliza **Planificación Automática clásica**
 - Dominio y problema en lenguaje PDDL
 - Planificador automático encuentra plan de acciones válido
- Objetivo: Planificar todos los ejercicios de una terapia
 - Usa ejercicios de una base de conocimiento: **e#, L#**
 - Si faltan, planifica el aprendizaje de ejercicios: **L**

		Ejercicios planificados			
		1	2	...	E
Sesiones	1	e3	e6		e7
	2	e0	L		e10
	...				
	S	L11	e5		e9



Ejercicio
Fase
Grupo
Duración
Intensidad
Dificultad
Adecuación A
Adecuación B
Adecuación C
Adecuación D
Adecuación E

José C. Pulido, José C. González et al.: “**Goal-directed Generation of Exercise Sets for Upper-Limb Rehabilitation**”.
In *proceedings of the 5th Workshop on Knowledge Engineering for Planning and Scheduling (KEPS)*, pp. 38-45, 2014.

Diseñador de terapias

- **Asegura la validez clínica de la terapia**
 - TOCLs (*Therapeutic Objective Cumulative Levels*)



Médico



Objetivo terapéutico	TOCL
Objetivo A	15
Objetivo B	30
Objetivo C	5
Objetivo D	0
Objetivo E	0



**Diseñador
de terapias**

- Cada ejercicio tiene una adecuación asociada a un objetivo
- Si se **alcanzan todos los TOCLs**, la sesión es válida
 - Sumando las adecuaciones de los ejercicios planificados

Diseñador de terapias

- **Asegura sesiones bien formadas**
 - Fases de calentamiento, entrenamiento y enfriamiento
 - Fases en orden (ejercicios intensos en el medio)
 - Duración mínima y máxima de cada fase
- **Asegura variabilidad entre sesiones**
 - Evita ejercicios de las últimas 3 sesiones
 - Evita planificar uno en la misma posición de la última vez
- **Adaptable al perfil del paciente**
 - Evita grupos de ejercicios, intensidad máxima, etc.

Diseñador de terapias - Evaluación

■ Ejemplo de plan para una sola sesión

```
0: (SESSION-START)
1: (WARMUP-PHASE)
2: (WARMUP-DATABASE-EXERCISE E0)
3: (TRAINING-PHASE)
4: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E11)
5: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E12)
6: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E10)
7: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E9)
8: (LEARN-TRAINING-EXERCISE
    O_SPATIAL_HAND A_MEDIUM D_LONG)
9: (COOLDOWN-PHASE)
10: (COOLDOWN-DATABASE-EXERCISE E15)
11: (SESSION-END)
```

Planificador
CBP-IPC2011

Sesiones de
una en una

Diseñador de terapias - Evaluación

■ Ejemplo de plan de terapia completa

Ejercicios planificados →

Sesiones	Ejercicios planificados							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	e0	e9	e11	e12	e10	e7	e15	
2	e4	e2	e5	e6	L	L	L	e13
3	e1	e3	e8	L	L	L	L	e16
4	L	L	L	L	L	L	e17	
5	e0	e11	e12	e10	e9	L	e15	
6	e4	e2	e6	L19	e7	e5	L20	e13
7	e1	e3	L24	e8	L23	L22	e16	
8	L25	L26	L30	L27	L28	L29	e17	
9	e0	e12	e10	L31	e11	e9	e15	
10	e4	e2	L19	L20	e6	e7	e13	
11	e1	e3	L22	L23	L24	e8	e16	
12	L	L25	L26	L29	L30	L27	L28	e17
13	e0	e10	L21	e12	e9	e11	e15	
14	e4	e2	e7	e6	L20	L19	e13	
15	e1	e3	L24	e8	L22	L23	e16	

Las que más tardan

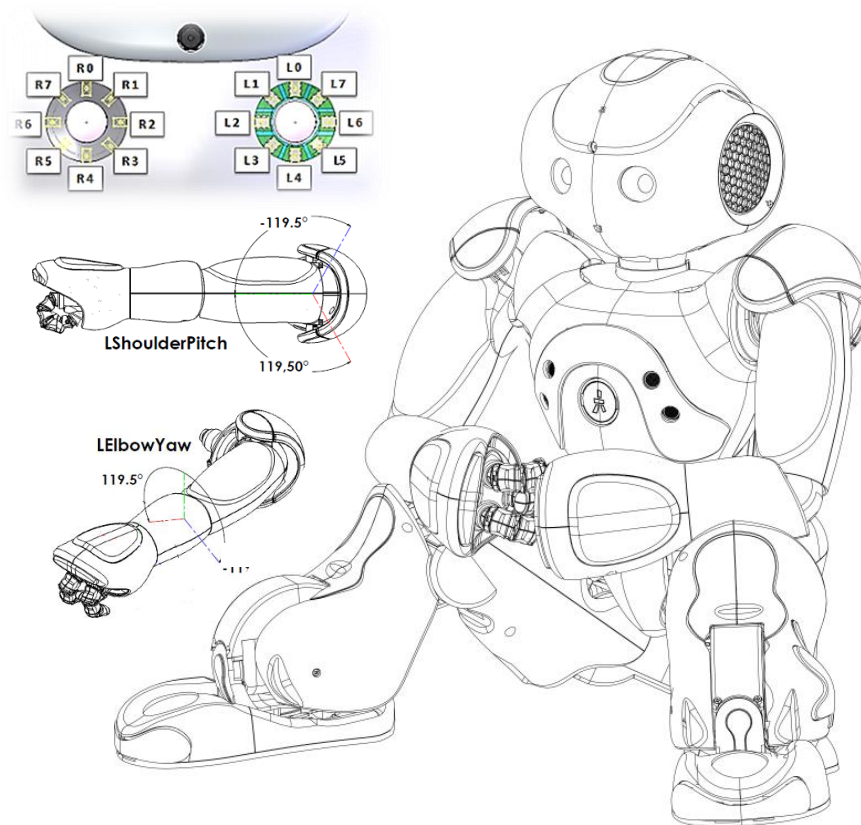
Tiempos irregulares
2 seg. de media
10 min. el más alto

Pocos ejerc. iniciales

Calentamiento: 5
Entrenamiento: 8
Enfriamiento: 5

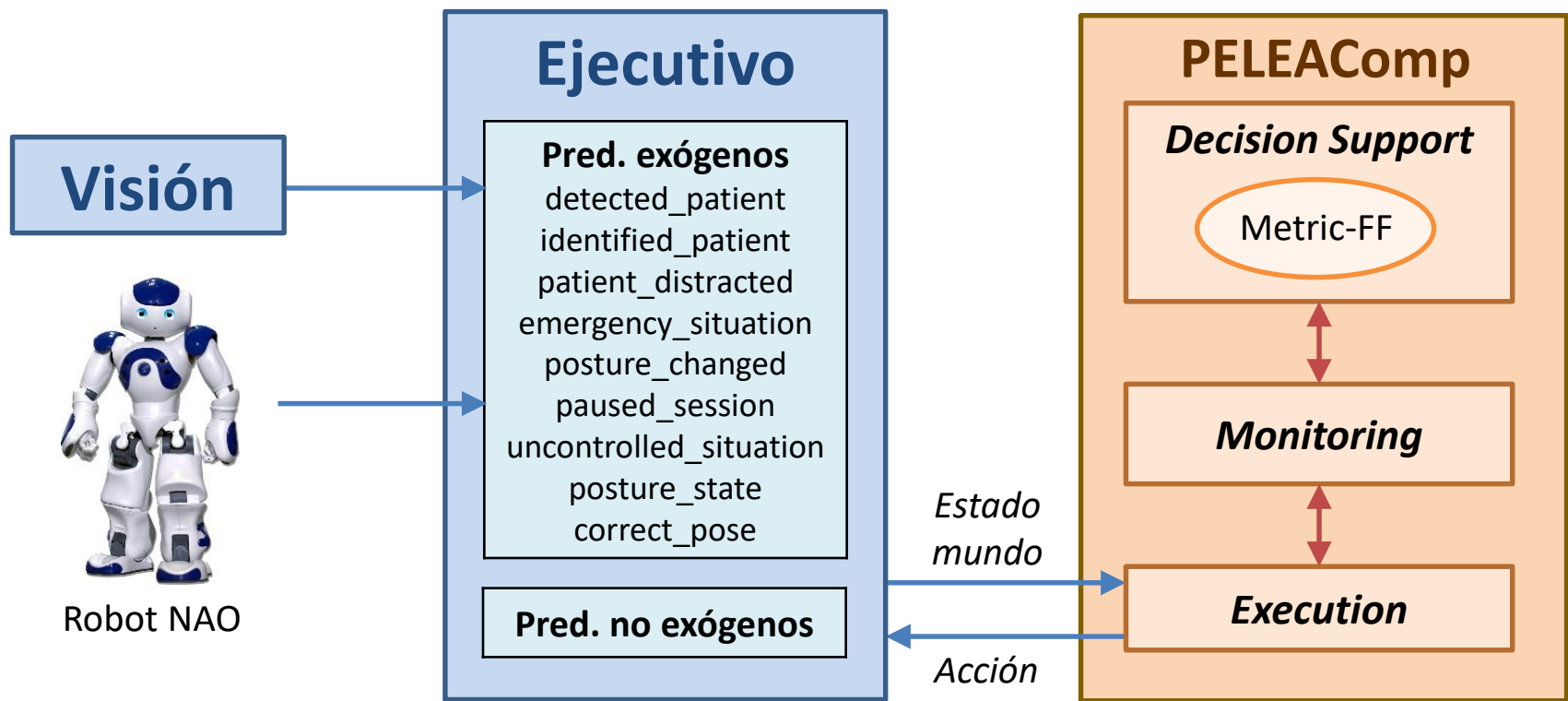
e# Ej. Inicial almacenado
L Acción de aprendizaje
L# Ej. aprendido reusado

COMPONENTE EJECUTIVO



Componente Ejecutivo

1. Mantiene el estado actual del mundo en lenguaje PDDL
 - Para recibir acciones desde el soporte a la decisión



Componente Ejecutivo

2. Controla todo el comportamiento del robot

21 acciones de nivel medio

PELEAComp

detect-patient	finish-exercise
identify-patient	finish-training
greet-patient	say-good-bye
start-training	finish-session
introduce-exercise	claim-stand-up
stand-up	claim-sit-down
sit-down	claim-attention
start-exercise	pause-session
execute-pose	resume-session
correct-pose	cancel-session
finish-pose	

Ejecutivo

Instrucciones



Robot NAO

Componente Ejecutivo - Evaluación



Más vídeos en <http://www.youtube.com/user/NAOTherapist>

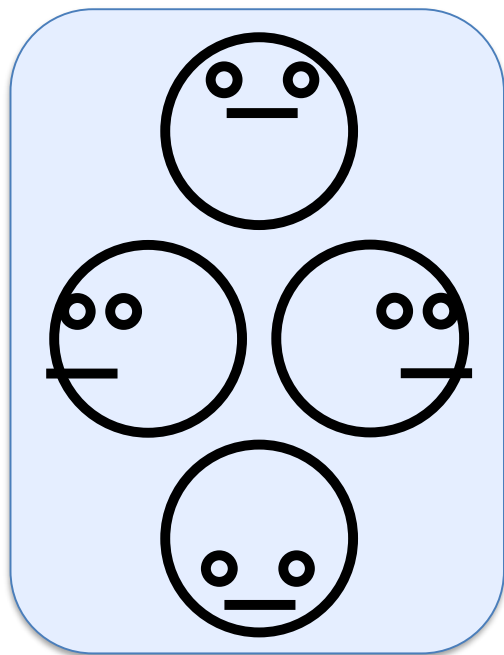
RECONOCEDOR DE EXPRESIONES FACIALES



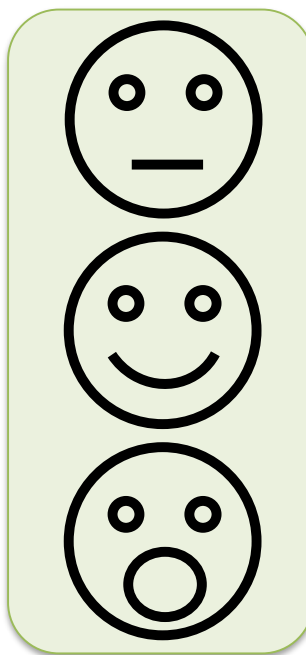
Reconocedor de expresiones faciales

- Importante en robótica social
 - Conocimiento que mejora la interacción
 - **10 expresiones** individuales (clases)

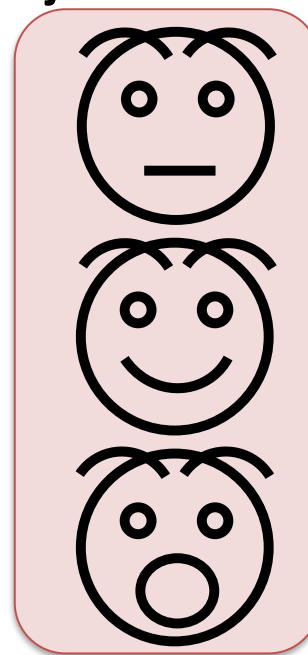
Dónde mira



De frente

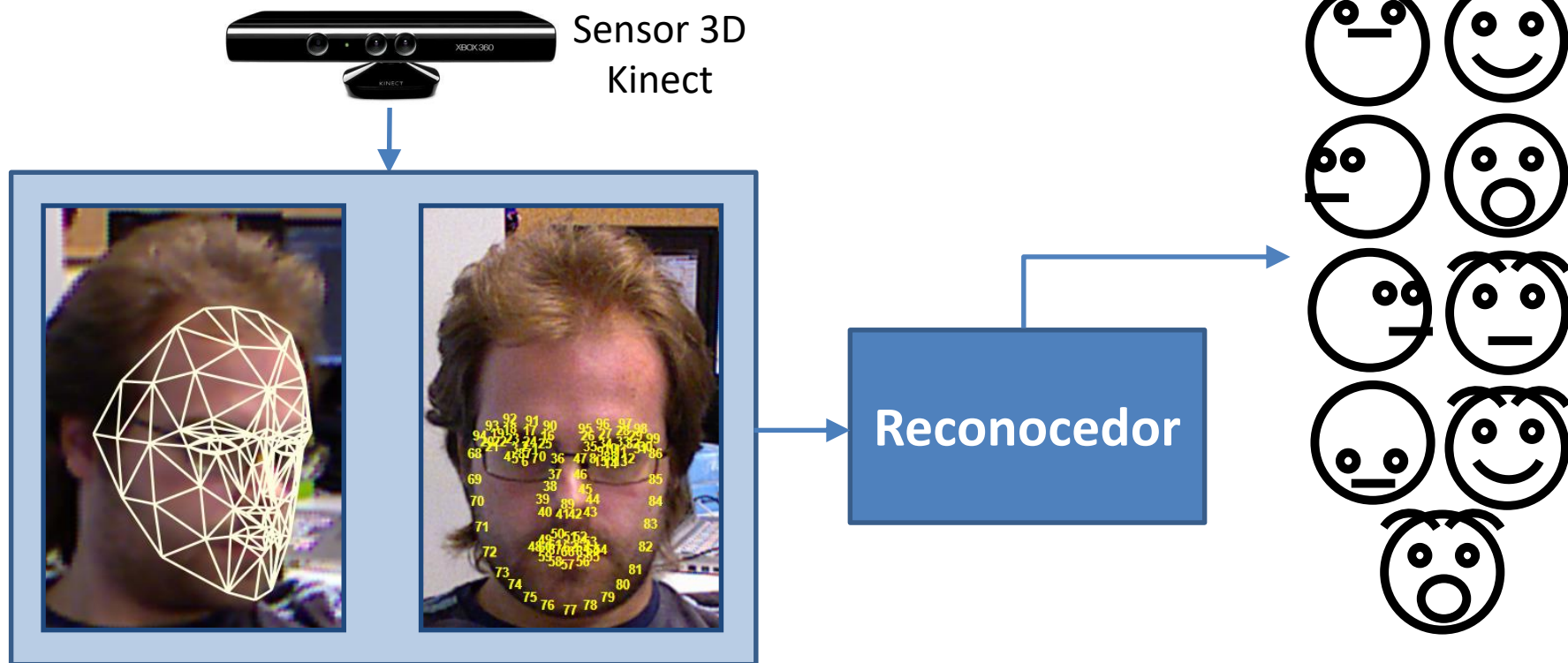


Cejas levantadas



Reconocedor de expresiones faciales

- Malla de puntos con relaciones poco evidentes
 - **Aprendizaje Automático relacional** (Tilde)
 - Árbol relacional de decisión C4.5

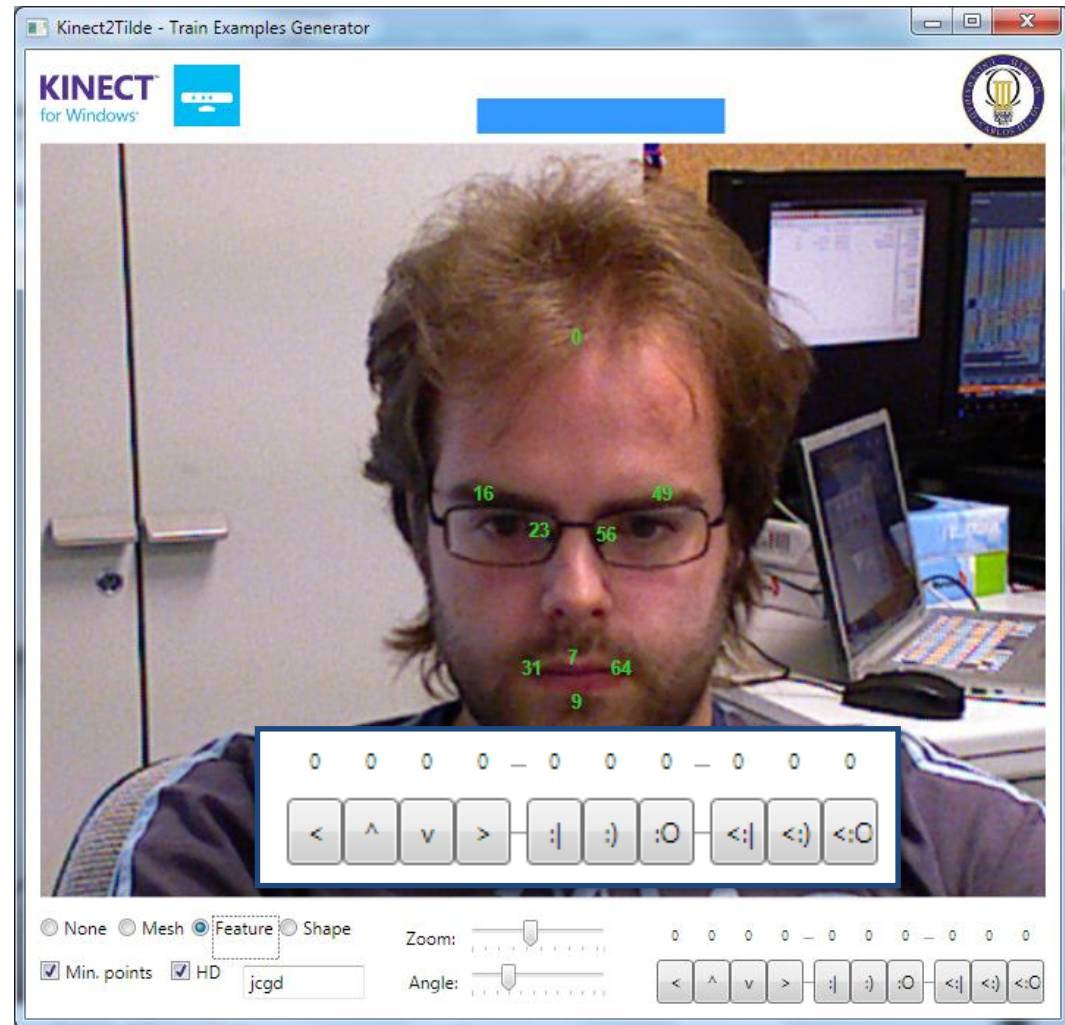


Reconocedor de expresiones faciales

■ Interfaz de captura

■ 9 puntos seleccionados:

- p0* Centro cara
- p16* Centro ceja izquierda
- p49* Centro ceja derecha
- p23* Interior ojo izquierdo
- p56* Interior ojo derecho
- p7* Centro labio superior
- p31* Izquierda boca
- p64* Derecha boca
- p9* Punto superior barbilla



Reconocedor de expresiones faciales

- **73 predicados** por ejemplo de entrenamiento

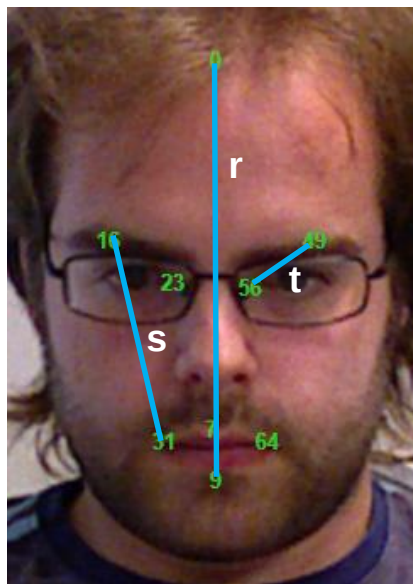
- De cada par de puntos:

- **Distancia** entre ellos
- **Ángulo** respecto al eje horizontal

- Transformaciones:

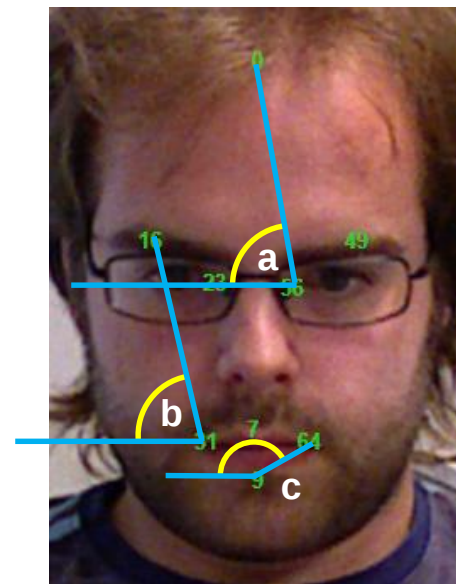
- **Normalizar** de 0 a 1
- **Discretizar** en intervalos de 0,1

Distancia



r distance9_10 (p0,p9)
s distance5_6 (p16,p31)
t distance1_2 (p56,p49)

Ángulo



a angle4_5 (p0,p56)
b angle4_5 (p16,p31)
c angle8_9 (p9,p64)

Rec. expresiones faciales - Evaluación

- **2 personas:** chica 15 años y chico de 27 años
- **2000 ejemplos:** 20% aleatorio test, incluye ruido
- Mínimo 30 ejemplos por hoja

Re\Pr	←	↑	↓	→	:	:)	:O	<:	<:)	<:O	
←	41										41
↑		37									37
↓	3		25		12	3					44
→				30							30
:					40			3			43
:)						35			2		35
:O							37			2	39
<:					24			18	10		52
<:)	1					11		6	30		48
<:O										34	34
	45	37	25	30	76	49	37	27	41	36	403

Clase	Positivos reales	Positivos falsos
←	100%	1%
↑	100%	0%
↓	57%	0%
→	100%	0%
:	93%	10%
:)	100%	4%
:O	95%	0%
<:	35%	3%
<:)	63%	3%
<:O	100%	1%
Precisión: 81%		

Conclusiones y trabajo futuro

- **Diseñador de terapias** basado en Planificación Automática clásica
 - Planifica sesiones correctas y variadas en un tiempo razonable
 - *Trabajo futuro:* Realizar pruebas del sistema en hospitales
- **Componente Ejecutivo** de una arquitectura robótica cognitiva
 - Integra la planificación, percepción, control y ejecución de toda la arquitectura
 - *Trabajo futuro:* Independizar más la arquitectura del robot
- **Reconocimiento de expresiones faciales** con aprendizaje relacional
 - Capaz de distinguir 10 clases con un 81% de precisión
 - *Trabajo futuro:* Reconocer en tiempo real para el componente Visión
- **Prototipo de la arquitectura robótica cognitiva**
 - Funciona con fluidez y reacciona bien ante situaciones inesperadas
 - *Trabajo futuro:* Trasladar la arquitectura cognitiva al proyecto THERAPIST



Universidad
Carlos III de Madrid



Integración de Planificación de Alto Nivel, Ejecución y Percepción en Robots Autónomos

José Carlos González Dorado

Tutor: Fernando Fernández Rebollo

Trabajo de Fin de Máster

Gracias por su atención



Distribución de trabajo en NAOTherapist

	González	Pulido
Diseño arquitectura	50%	50%
Base de conocimiento	50%	50%
Diseñador de terapias		
Interfaz gráfica	30%	70%
Definición del modelo	50%	50%
Clásico	100%	0%
HTN	0%	100%
PELEA		
Dominio	0%	100%
Generador problema	0%	100%
Ejecutivo		
Integración PELEAComp	100%	0%
Integración NAO	100%	0%
Integración con visión	100%	0%
Visión		
Verificación de poses	20%	80%
Aprend. de posturas	0%	100%
Aprend. de exp. faciales	100%	0%

Motivación del trabajo

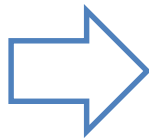
- Los terapeutas planifican los ejercicios de cada sesión
 - Su intuición no asegura los objetivos terapéuticos
 - Un **diseñador automático de terapias** permitiría planificar mejor las sesiones
- Los niños se distraen y se cansan de la rehabilitación
 - Los robots sociales autónomos estimulan su atención
 - Necesitan una **arquitectura robótica cognitiva**
- La robótica social de asistencia aún es experimental
 - Requiere investigar técnicas innovadoras como el **reconocimiento de expresiones faciales**

NAOTherapist

- Robot terapeuta humanoide autónomo y social
 - Planifica los ejercicios de toda la terapia
 - Hace él mismo los ejercicios planificados y controla que el paciente lo imite correctamente
 - Prototipo del proyecto conjunto THERAPIST, en desarrollo
 - Dotará de mayor **autonomía** al robot teleoperado Ursus



Ursus



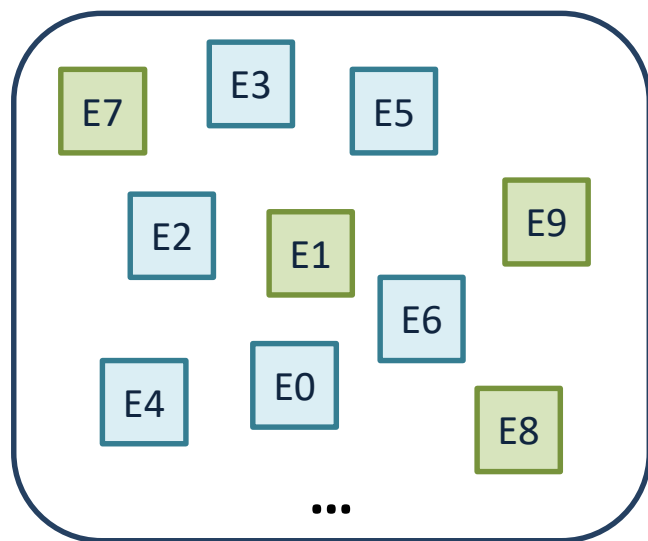
NAOTherapist



THERAPIST

Diseñador de terapias

Base de conocimiento

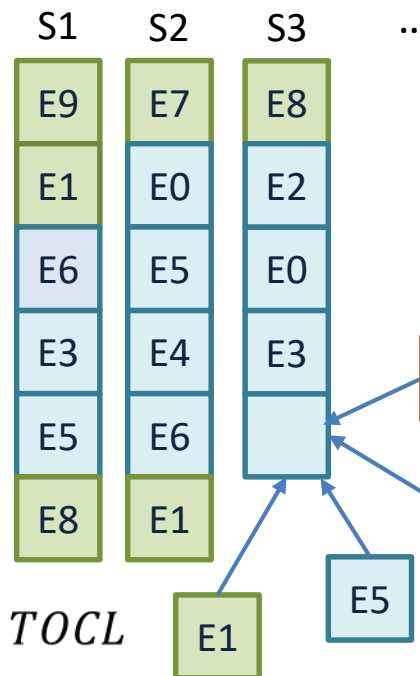


$$\sum_{i=1}^{numEx} adequacyTOCL_i \geq TOCL$$

Alcanzar los TOCLs

Sesiones planificadas

TOCLs
Restricciones

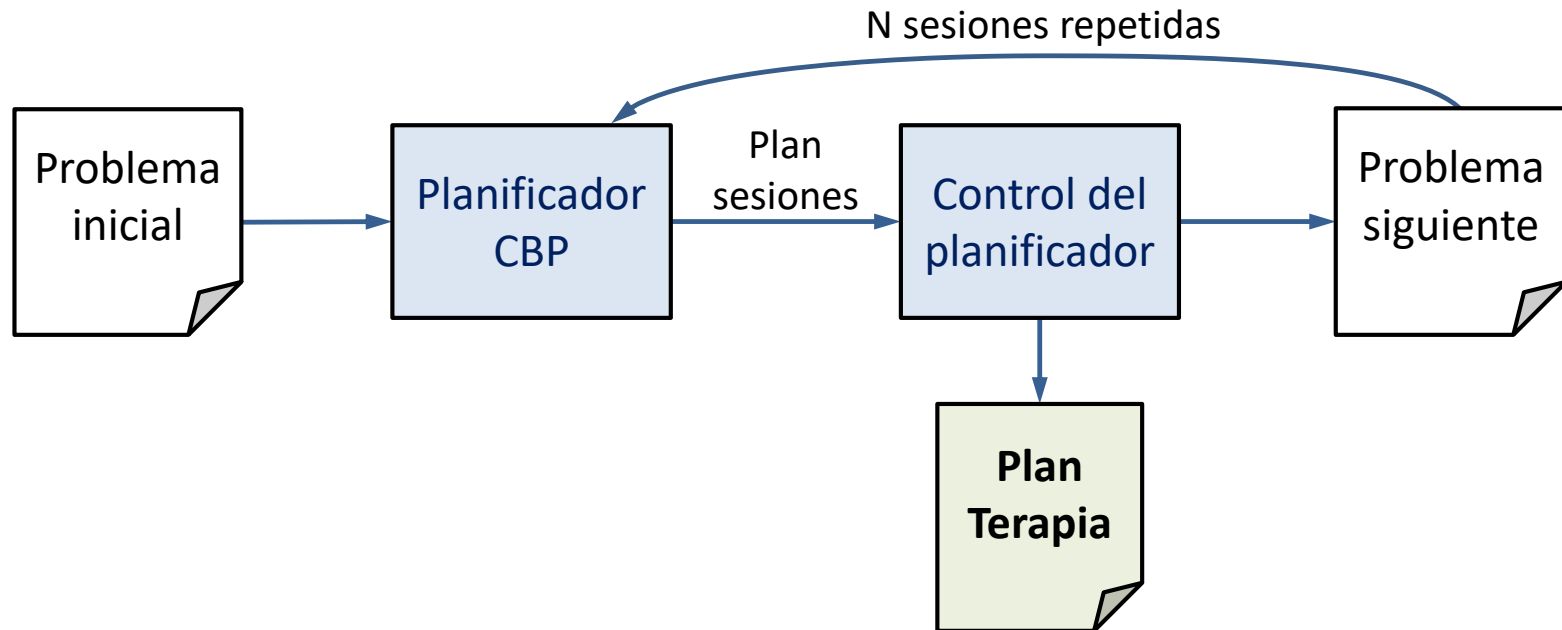


*Acción
aprendizaje*



Diseñador de terapias

- Estrategia divide y vencerás
 - Las sesiones se planifican de una en una y se tienen en cuenta sus interacciones



Diseñador de terapias

- Aprendizaje de nuevos ejercicios
 - Si no está encontrando unos ejercicios válidos
 - Planifica el aprendizaje de un **nuevo ejercicio**
 - El terapeuta debe enseñárselo antes de empezar la sesión
 - **Sugiere** algunas características:
 - Duración, objetivo terapéutico dominante y su adecuación mínima
- Es preferible utilizar los ejercicios guardados:
 - Aprender tiene un **coste de acción** más alto

Diseñador de terapias

- Acción para planificar el aprendizaje de un ejercicio

```
(:action learn-warmup-exercise
:parameters (?t - target ?a - l_adequacy ?d - l_duration
             ?i - l_intensity)
:precondition (and
  (current_phase p_warmup)
  (< (p_duration p_warmup) (p_max_duration p_warmup)))
:effect (and
  (increase (exercise_index) 1)
  (increase (intensity_cumulative) (l_intensity_value ?a))
  (increase (p_duration p_warmup) (l_duration_value ?d))
  (increase (adequacy_cumulative ?t) (l_adequacy_value ?a))
  (increase (total-cost)
    (- (+ (l_adequacy_value ?a) 10) (l_duration_value ?d)))))
```

Diseñador de terapias

■ Acción para incluir ejercicio de la base de conocimiento

```
(:action training-database-exercise
:parameters (?e - exercise_training)
:precondition (and
  (current_phase p_training)
  (< (p_duration p_training) (p_max_duration p_training))
  (> (- (session_index) (e_last_session ?e) ) 2)
  (not (= (exercise_index) (e_last_position ?e))))
:effect (and
  (assign (e_last_session ?e) (session_index))
  (assign (e_last_position ?e) (exercise_index))
  (increase (p_duration p_training) (e_duration ?e))
  (increase (intensity_cumulative) (e_intensity ?e))
  (increase (difficulty_cumulative) (e_difficulty ?e))
  (increase (exercise_index) 1)
  (increase (TOCL t_bimanual) (e_adequacy ?e t_bimanual))
  (increase (TOCL t_unimanual_coarse) (e_adequacy ?e t_unimanual_coarse))
  (increase (TOCL t_unimanual_fine) (e_adequacy ?e t_unimanual_fine))
  (increase (TOCL t_spatial_arm) (e_adequacy ?e t_spatial_arm))
  (increase (TOCL t_spatial_hand) (e_adequacy ?e t_spatial_hand))))
```

Control fase

Variabilidad

Diseñador de terapias - Evaluación

Metric-FF

CBP IPC-2011

0: SESSION-START
1: WARMUP-PHASE
2: LEARN-WARMUP-EXERCISE
 SPATIAL_HAND LONG MAXIMUM
3: TRAINING-PHASE
4: TRAINING-DATABASE-EXERCISE E7
5: LEARN-TRAINING-EXERCISE
 UNIMANUAL_COARSE
 MEDIUM MAXIMUM
6: LEARN-TRAINING-EXERCISE
 UNIMANUAL_COARSE
 MEDIUM MAXIMUM
7: TRAINING-DATABASE-EXERCISE E12
8: LEARN-TRAINING-EXERCISE
 UNIMANUAL_FINE
 MEDIUM MAXIMUM
9: COOLDOWN-PHASE
10: LEARN-COOLDOWN-EXERCISE
 SPATIAL_HAND LONG INTENSE
11: SESSION-END

0: (SESSION-START)
1: (WARMUP-PHASE)
2: (WARMUP-DATABASE-EXERCISE E0)
3: (TRAINING-PHASE)
4: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E11)
5: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E12)
6: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E10)
7: (TRAINING-DATABASE-EXERCISE E9)
8: (LEARN-TRAINING-EXERCISE
 SPATIAL_HAND
 LONG RELAXED)
9: (COOLDOWN-PHASE)
10: (COOLDOWN-DATABASE-EXERCISE E15)
11: (SESSION-END)

Rec. expresiones faciales - Evaluación

```
distance05_1(-A,-B) ?
+--yes: distance1_2(B,-C) ?
|      +--yes: [←] 173.0
|      +--no:  [→] 170.0
+--no: distance7_8(-D,-E) ?
      +--yes: distance1_2(D,-F) ?
      |      +--yes: [<:|] 53.0
      |      +--no: distance3_4(-G,E) ?
      |      |      +--yes: distance2_3(E,-H) ?
      |      |      |      +--yes: [<:O] 168.0
      |      |      |      +--no:  [:O] 160.0
      |      |      +--no: [↑] 163.0
+--no: angle9_10(-I,-J) ?
```



Rec. expresiones faciales - Evaluación



```
+--no:  angle9_10(-I,-J) ?
      |--yes: distance4_5(J,-K) ?
      |      |--yes: distance5_6(-L,J) ?
      |      |      |--yes: angle7_8(-M,L) ?
      |      |      |      |--yes: [<:)] 76.0
      |      |      |      |--no:  [<:|] 39.0
      |      |      |--no:  angle5_6(I,-N) ?
      |      |      |--yes: [:)] 196.0
      |      |      |--no:  [<:)] 50.0
      |      |--no:  [↓] 89.0
      |--no:  [:|] 275.0
```