

Optimización de un Sistema de Control Basado en Modelo Híbrido para intervenciones comportamentales

Daniel Andrés Cevallos Valdiviezo, Mgtr; Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

RESUMEN

La inactividad física es uno de los principales factores que contribuyen a la morbilidad y mortalidad mundial. Se disponía de un modelo dinámico basado en la teoría social cognitiva (SCT, por sus siglas en inglés) que describe comportamientos relacionados con la salud. Sobre este modelo se aplicaron intervenciones intensamente adaptativas (IAI, por sus siglas en inglés) con el objetivo de promover la actividad física como correr o caminar. Se utilizó los principios de ingeniería de control, específicamente el control predictivo de modelo híbrido (HMPC, por sus siglas en inglés) como una estrategia para utilizar de manera efectiva el conocimiento del modelo dinámico y, por lo tanto, predecir el rendimiento del sistema en un horizonte de tiempo finito. Todo esto para encontrar el mejor conjunto de entradas a través de un problema de optimización en la presencia de interacción entre señales continuas y discretas que son comunes en las intervenciones conductuales y así mejorar IAI. En este trabajo también se mejoraron los niveles de rechazo a las perturbaciones que puedan afectar al sistema, sean estas medidas o no. Todo ello con el objetivo de que IAI sea óptimo y eficiente en las intervenciones conductuales.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se disponía de un modelo dinámico basado en la teoría social cognitiva (SCT por sus siglas en inglés) que describe los comportamientos relacionados a la salud. Sobre dicho modelo estaba sometido a intervenciones intensamente adaptativas (IAI por sus siglas en inglés) a partir de control predictivo híbrido con el objetivo de promover la actividad física como correr o caminar, pero se requirió que el controlador predictivo híbrido presente una mejor eficiencia de tal manera que sea óptimo para las intervenciones comportamentales del individuo.

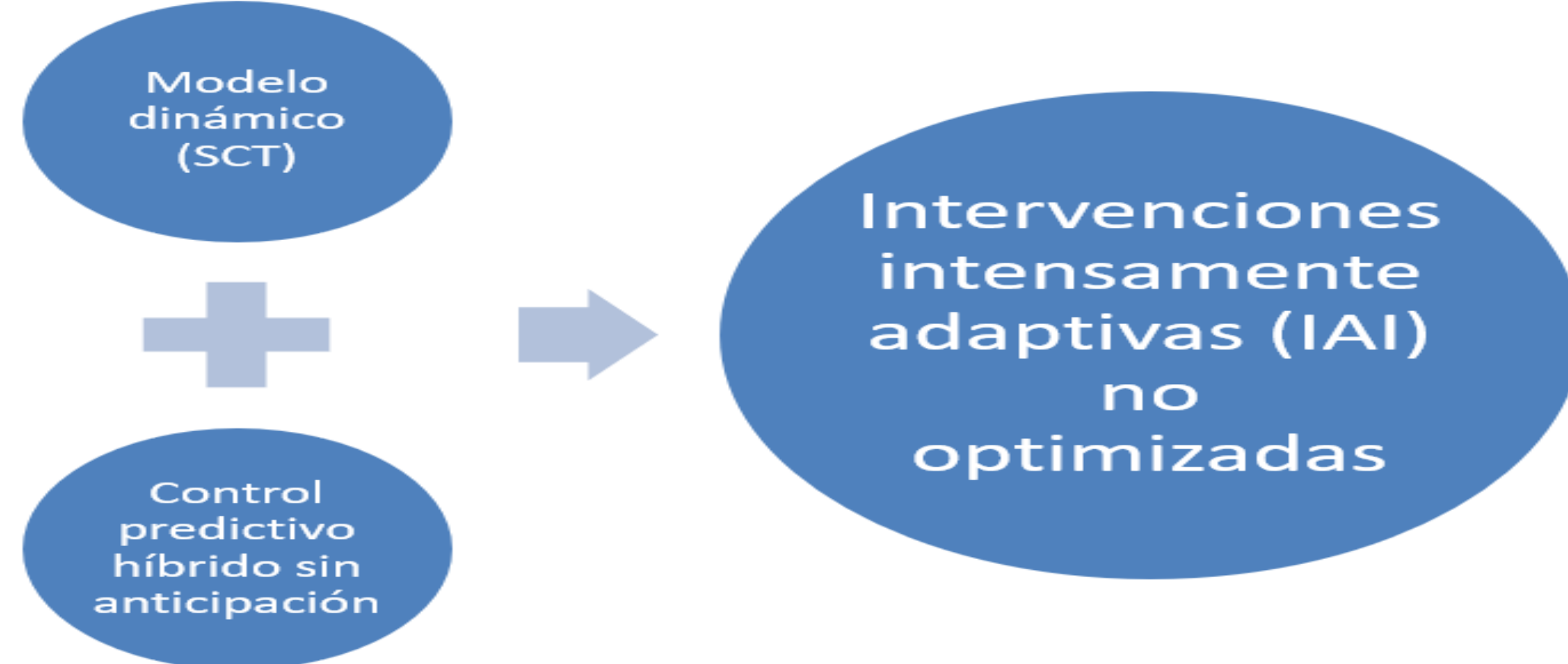


Figura 1: Descripción del problema

OBJETIVO GENERAL

Establecer mejoras en intervenciones intensamente adaptativas basadas en el modelo dinámico de la teoría social cognitiva aplicando ingeniería de control para la obtención de niveles adecuados de rechazo a las perturbaciones y/o ruido que puedan afectar al sistema.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar teoría de control con conceptos de ciencias del comportamiento a fin de visualizar la interrelación entre variables medidas y resultados esperados.
- Analizar estrategias basadas en control predictivo del modelo híbrido (HMPC) que permitan mediar en las intervenciones intensamente adaptativas con el objeto de realizar predicciones y decisiones a partir del modelo del sistema ajustando dinámicamente los valores de los componentes de la intervención.
- Reestructurar el algoritmo que define el controlador predictivo híbrido con el objetivo de mejorar niveles de rechazo a perturbaciones, además de mejorar su eficiencia y funcionamiento.
- Comprobar los resultados a través de simulaciones con la intención de visualizar la mejora de las intervenciones intensamente adaptativas basado en el controlador predictivo híbrido.

METODOLOGÍA

HMPC con anticipación (pronóstico de la perturbación)

$$y(k+1) = [y^T(k+1)y^T(k+2)\dots y^T(k+p)]^T$$

Valores futuros:
 $y(k+1)$: Salidas
 $u(k)$: Entradas
 $\delta(k)$: Binarias auxiliares
 $Z(k)$: Continuas auxiliares
 $D(k)$: Perturbaciones medidas filtradas

$$u(k) = [u^T(k)\dots u^T(k+m-1)]^T$$

$$\delta(k) = [\delta^T(k)\dots \delta^T(k+m-1)]^T$$

$$Z(k) = [z^T(k)\dots z^T(k+p-1)]^T$$

$$D(k) = [d_{fu}^T(k)\dots d_{fu}^T(k+p-1)]^T$$

u, δ, y y Z son las variables de decisión del MPC y puede ser encontrado por un optimizador programa de enteros mixtos (miqp, por sus siglas en inglés)

Sujeto a restricciones de enteros mixtos:

$$y_{min} \leq y(k+1) \leq y_{max}$$

$$u_{min} \leq u(k) \leq u_{max}$$

$$\Delta u_{min} \leq \Delta u(k) \leq \Delta u_{max}$$

Se define el problema MPC en un programa cuadrático entero mixto estándar (miqp) de la siguiente manera:

$$\min_{\xi} J \triangleq \frac{1}{2} \xi^T \mathcal{H} \xi + \mathcal{G}^T \xi$$

$$S \xi \leq b$$

$\xi = [u(k)^T \delta(k)^T Z(k)^T]^T$: Vector de las variables de decisión.
 \mathcal{H} y \mathcal{G} : Matrices de coeficientes para los términos cuadráticos y lineales de la función objetivo.
 S y b : Matrices de coeficientes para las restricciones lineales.

Sintonización usando 3 grados de libertad

- α_r : Velocidad del seguimiento del punto de ajuste (siendo 0 más rápido que 1)
- α_d contribuye a la respuesta ágil a los cambios de temperatura del controlador (siendo 0 más rápido que 1)
- f_a contribuye a la velocidad de rechazo de las perturbaciones no medidas (siendo 1 más rápido que 0).

RESULTADOS

HMPC sin anticipación

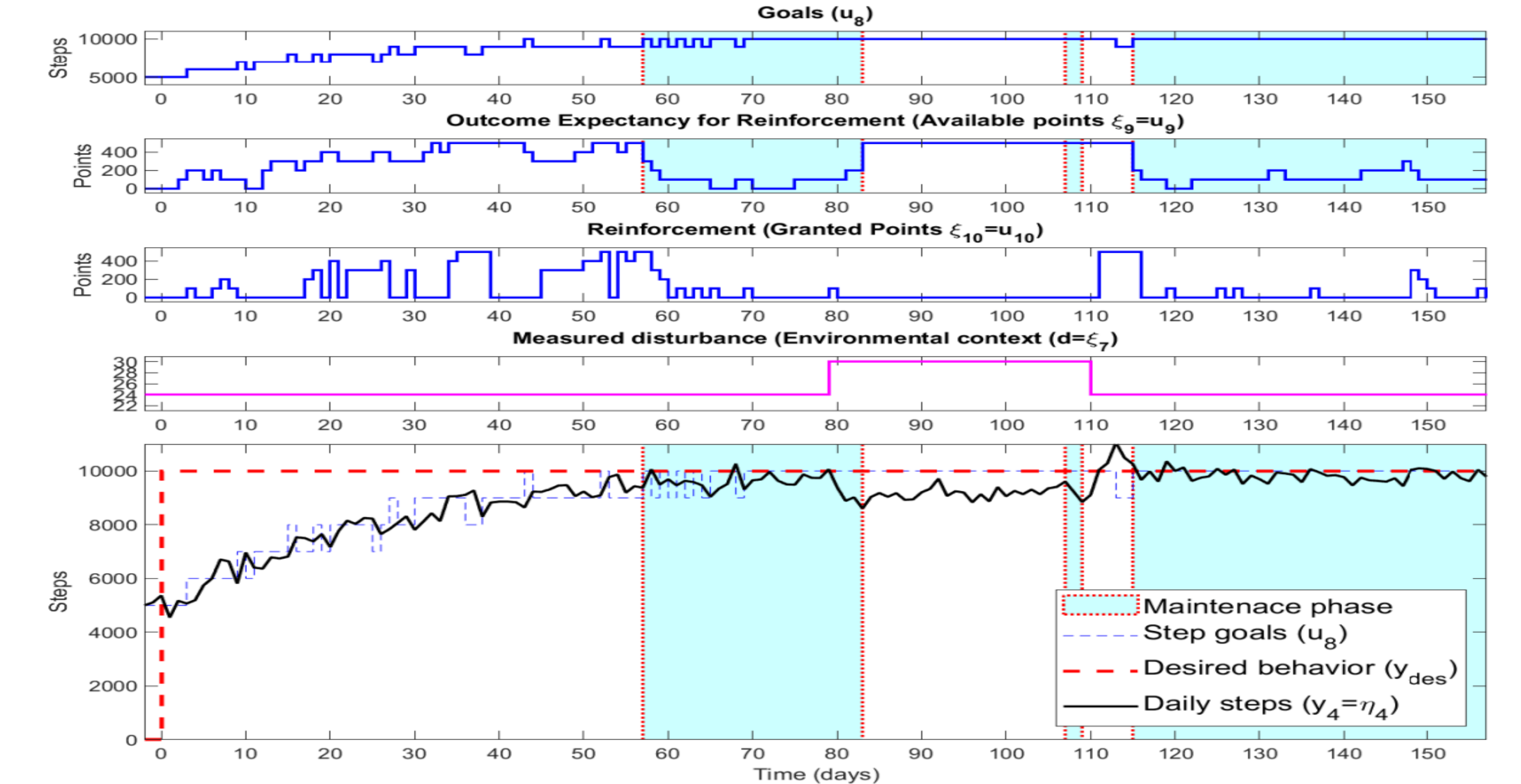


Figura 2: Intervención basada en HMPC sin anticipación $d(k) \sim N(0,400)$, $W_{00} = 0.005$, $\alpha_r = [0 \ 0 \ 0.96 \ 0 \ 0]^T$, $\alpha_d = [0.8 \ 0]^T$, $f_a = [0 \ 0 \ 0.3 \ 0 \ 0]^T$

HMPC con anticipación

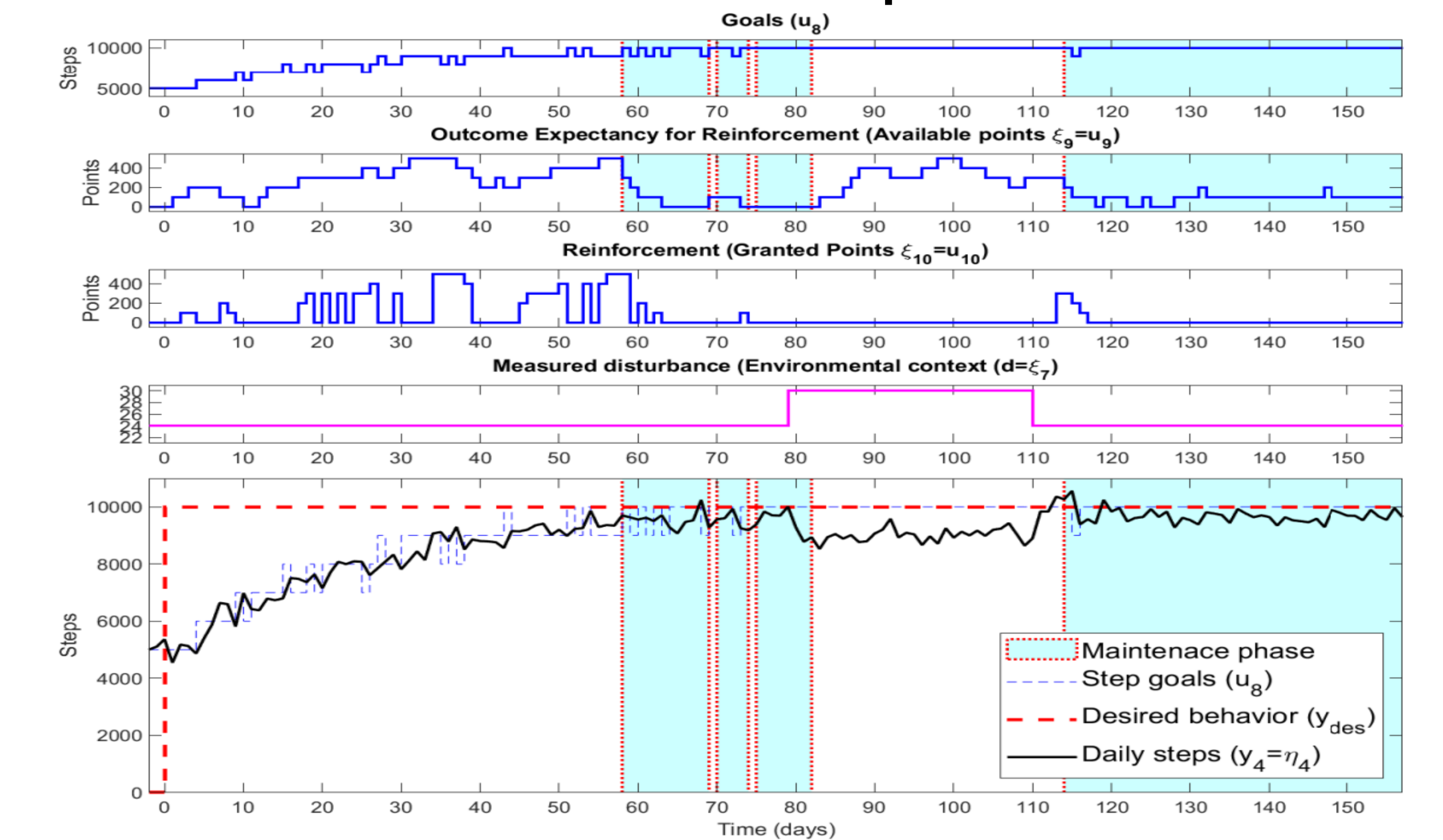


Figura 3: Intervención basada en HMPC con anticipación $d(k) \sim N(0,400)$, $W_{00} = 0.005$, $\alpha_r = [0 \ 0 \ 0.96 \ 0 \ 0]^T$, $\alpha_d = [0.8 \ 0]^T$, $f_a = [0 \ 0 \ 0.3 \ 0 \ 0]^T$

CONCLUSIONES

- Mejor rendimiento del algoritmo HMPC
- Mayor eficiencia en el rechazo de perturbaciones.
- Cuando se logra la meta, el sistema es capaz de mantener el comportamiento incluso con la reducción de puntos impuesta por la etapa de mantenimiento.
- Optimización de recursos evitando que se produzca gastos no necesarios y minimizando la posibilidad de que el individuo se vuelva dependiente de las recompensas para compensarse y cumplir las metas.
- Se evidencia el potencial de las estrategias de ingeniería de control en intervenciones comportamentales.

