



PTV
PLATAFORMA
TECNOLÓGICA
DEL VINO

Interprofesional del
VINO DE
ESPAÑA



AgroBank



Gemelos Digitales aplicados
al sector vitivinícola

DTWINE

Gemelos digitales para optimizar la fermentación vínica

Eva Balsa-Canto

ebalsa@iim.csic.es



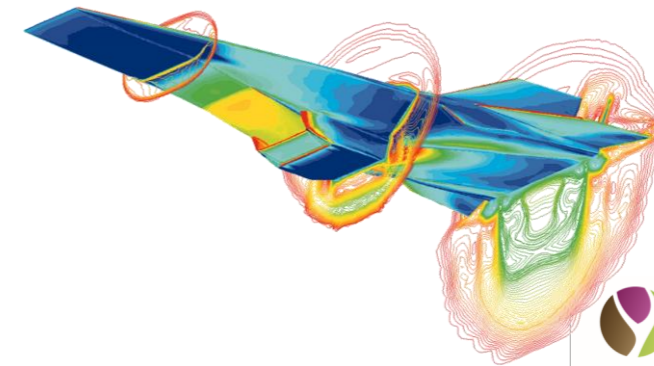
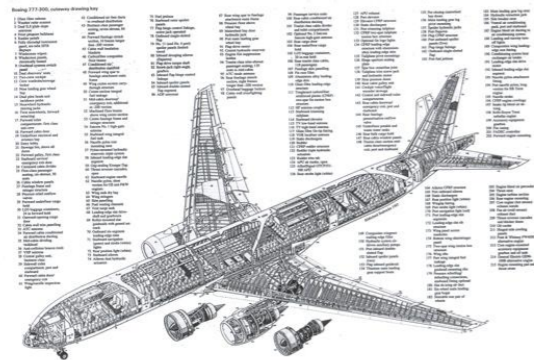
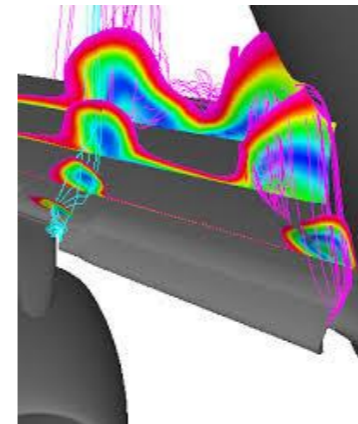
Proyecto PLEC2021-007827 financiado por:



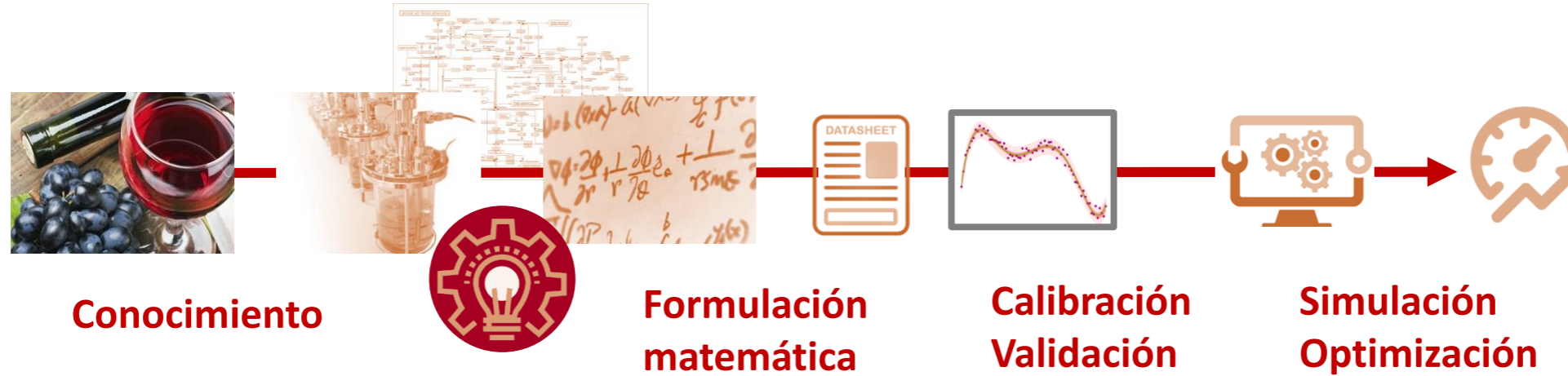
¿Qué es un gemelo digital?

“Una **réplica virtual** de un proceso real, que interacciona con el mundo real a través de **sensores, herramientas analíticas avanzadas y actuadores**”

- Núcleo: **modelo predictivo**
- Decisiones: **simulación y optimización (tiempo real)**
- Comunicación planta real y virtual: **sensores / actuadores**



Modelado predictivo en la industria alimentaria



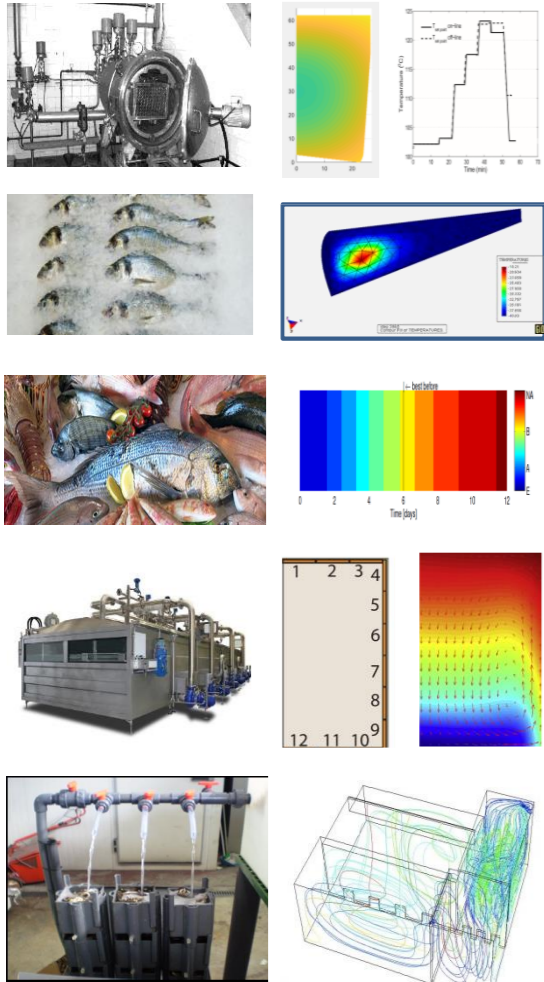
- Los modelos están diseñados para responder a cuestiones concretas
- Se formulan utilizando **conocimiento (física, química, biología)**
- Se reconcilian con datos experimentales: **calibración y validación**

Ventajas del modelado basado en conocimiento

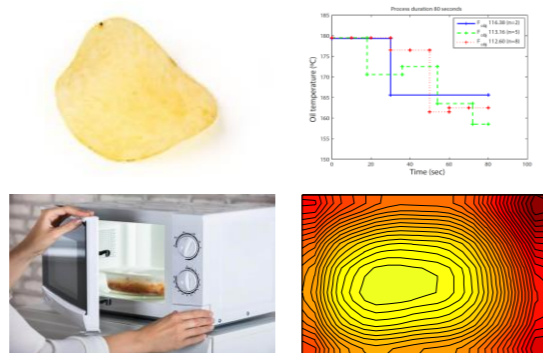
- ✓ Relaciones de causalidad
- ✓ Posible extrapolar - predecir
- ✓ Dinámicos, distribuidos (tiempo y espacio)
- ✓ Posible optimizar / controlar

Modelado predictivo en la industria alimentaria

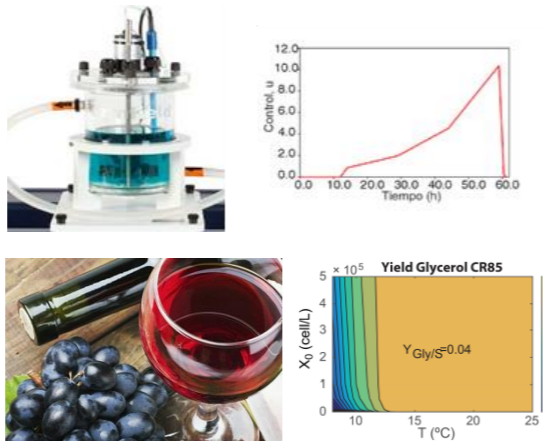
Conservación



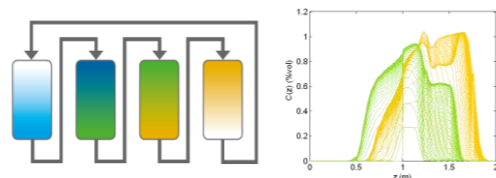
Elaboración



Bioconversión



Separación



El modelado predictivo se ha abordado en ciencia y tecnología de alimentos y ha encontrado aplicaciones industriales, pero ...

un modelo NO es un Digital Twin hay que combinarlo con técnicas de visualización, sensores, técnicas analíticas y actuadores.

Henrichs, et al. (2022). *Sensors*, 22:115
Verboven, et al. (2020). *Curr. Op. Food Sci*
de Prada, et al. (2022). *RIAI*, 19:285-296

Etc ...

Ventajas de un DT en la industria alimentaria



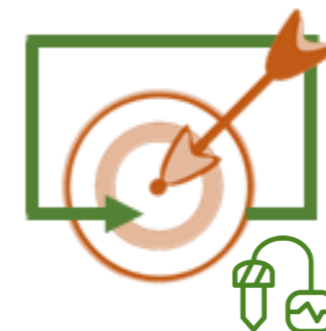
Mejora del conocimiento de los procesos



**Simulación y visualización:
Experimentos “*in silico*”
(en el ordenador)**



**Diseño de proceso y optimización
políticas de operación**



**Monitorización del proceso y
toma de decisiones
óptimas automatizada
(en tiempo real)**



DTWINE tiene por objetivo aplicar y consolidar la revolucionaria tecnología de los **gemelos digitales** en el **sector del vino** para conseguir una producción más sostenible y responder a las nuevas tendencias de consumo de vinos con menor graduación alcohólica y perfiles aromáticos ricos.

El gemelo digital DTWINE será un programa de ordenador que permitirá **simular y predecir** la **fermentación vínica** utilizando modelos matemáticos mecanísticos y **automatizará** la **optimización** del proceso combinando modelos, sensores y optimizadores.

¿Quiénes somos?

Equipo multidisciplinar y multiactor

Fermentaciones vnicas
Escalas laboratorio y planta piloto



Amparo Querol



Instituto de Agroquímica
y Tecnología de Alimentos

Sensórica
GUI



Antonio Aguirre
Glez. de San Pedro



INSTALACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y FLUIDOS



Gestión
Comunicación



Fernando Boned



Socios del
proyecto



DESDE 1924
RAMÓN BILBAO



Rosana Lisa

Usuario final;
Bodega

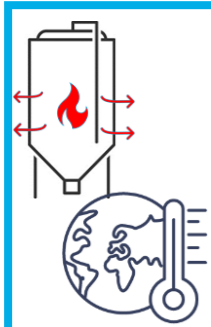


Modelos predictivos; optimización;
control predictivo



Eva Balsa-Canto

Retos de un DT en vinificación



La fermentación alcohólica es un proceso exotérmico

Control de temperatura supone **gasto energético** ($\approx 50\%$ del total)

Perfiles de procesamiento posiblemente **sub-óptimos**



Diseño de la fermentación depende del “talento” del enólogo y de la monitorización off-line de pocos parámetros

Difícil garantizar **reproducibilidad** entre años

Monitorización difícil y poco eficiente (*off-line*, manual)

Toma de **decisiones** con **poca información**; cambios en composición no medibles en bodega



Nuevas demandas de los consumidores

Vinos **más aromáticos** y **menos alcohólicos**

Objetivos del proyecto DTWINE



Objetivos específicos

Fermentaciones

- **Cartera de cultivos de levadura** de interés industrial – escalas laboratorio, piloto y mosto planta real, varias condiciones experimentales

Gemelo digital

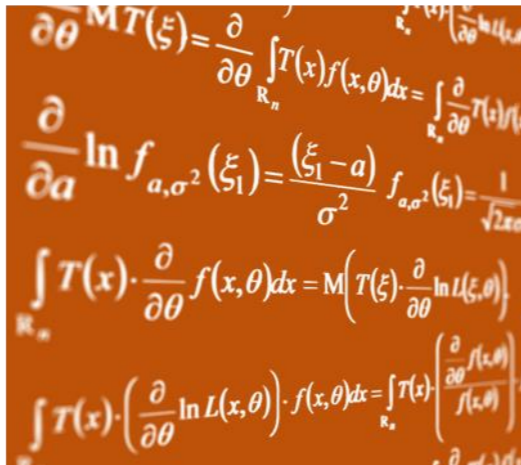
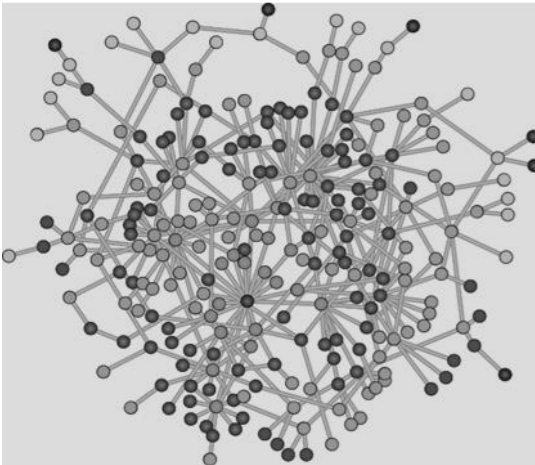
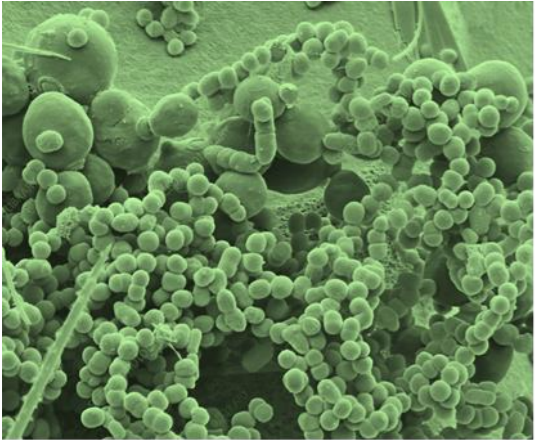
- Formular y validar **modelos predictivos** (todas las escalas)
- Calcular las **condiciones de operación óptimas (energía / calidad)**
- Implementar y validar una **red de sensores** y un esquema de **control predictivo basado en modelos** para garantizar un rendimiento óptimo en línea.
- **Interfaz amigable:** visualización de resultados y apoyo a la toma de decisiones

Validación

- Demostrar las **capacidades de los DT** para facilitar su posible explotación.
- **Cuantificar impactos.** Evaluar los beneficios a corto y largo plazo

A tener en cuenta para desarrollar el DT

Características del proceso



1

Proceso dinámico en varias fases

2

Las condiciones ambientales afectan la dinámica (Temperatura, nutrición nitrogenada)

3

Metabolismo secundario condiciona la calidad (producción de determinados aromas)

4

Nº de parámetros medidos reducido (modelos para predecir parámetros no medidos)

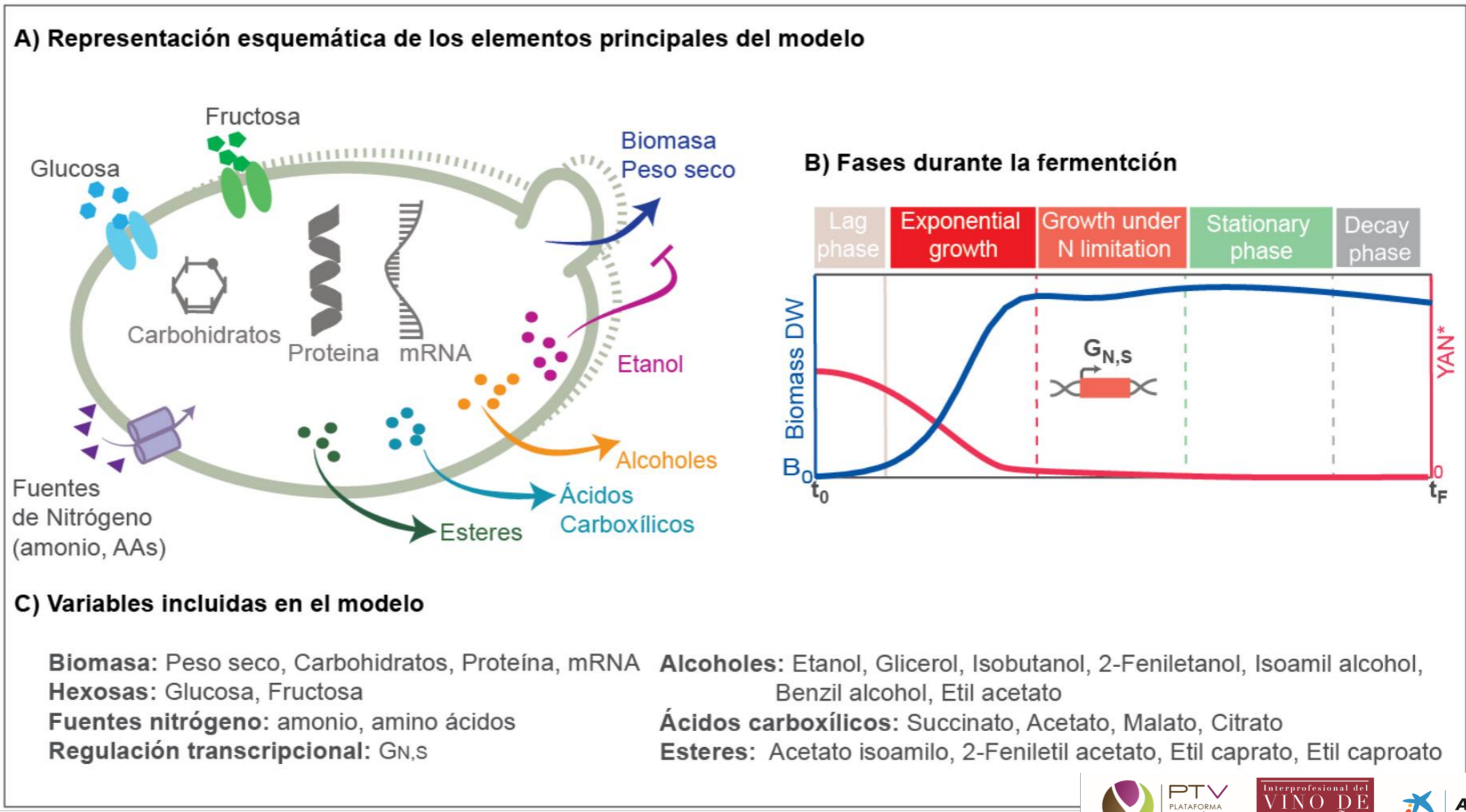
Proyectos previos: Modelos predictivos cinéticos que permiten predecir datos experimentales. Probados para 11 cepas de levadura de los géneros *S. cerevisiae*, *S. uvarum*, *S. kudriavzevii* e híbridos

Modelo cinético dinámico

$$\frac{dX(t)}{dt} = \Phi(X, S, \Theta)$$

$$\frac{dS_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^r N_{ij} \nu_j(S, k)$$

Biomasa
Composición del medio
(metabolites exteriores)

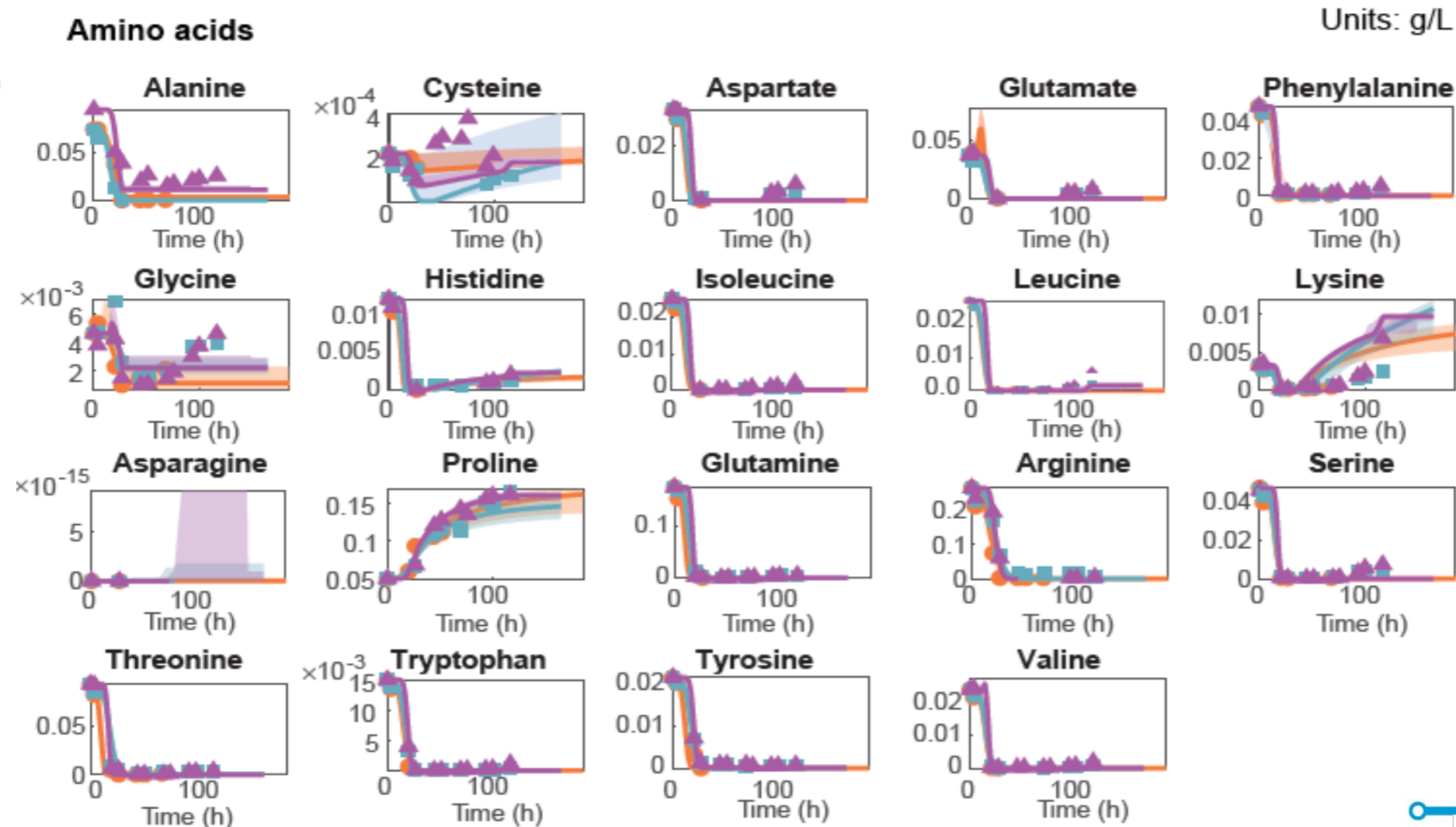


Nuestro punto de partida

Proyectos previos: Modelos predictivos cinéticos que permiten predecir datos experimentales.

Probados para 11 cepas de levadura de los géneros *S. cerevisiae*, *S. uvarum*, *S. kudriavzevii* e híbridos

Sc T73
Su BMV58
Su CECT12600



Henriques et al. Front. Microb., 2018

Henriques et al. mSystems, 2021

Rodríguez-Moimenta, et al. 2022 (en revisión)

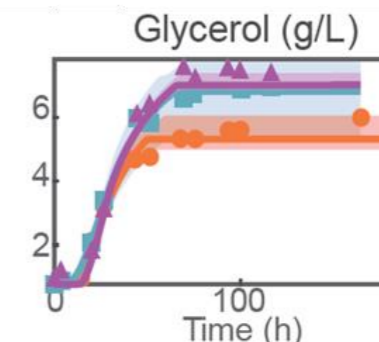
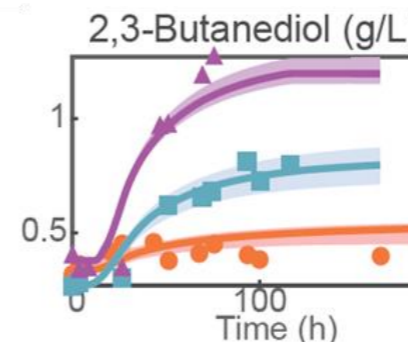
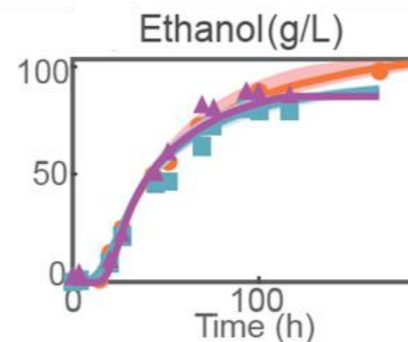
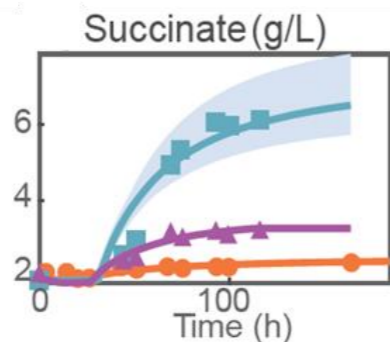
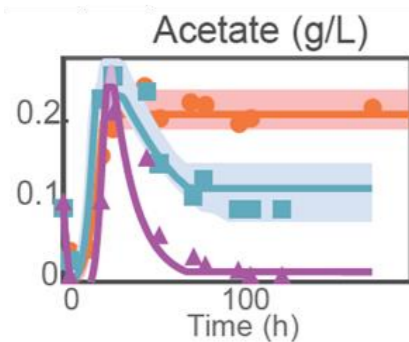
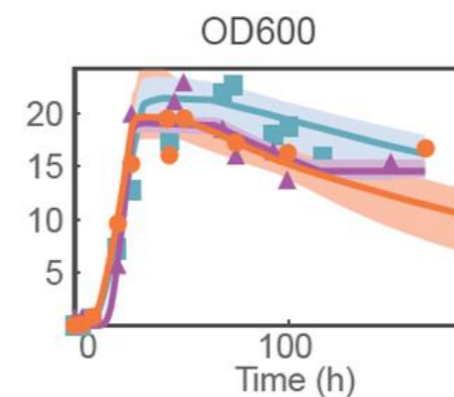
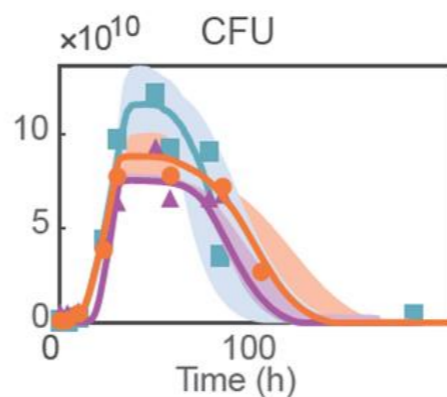
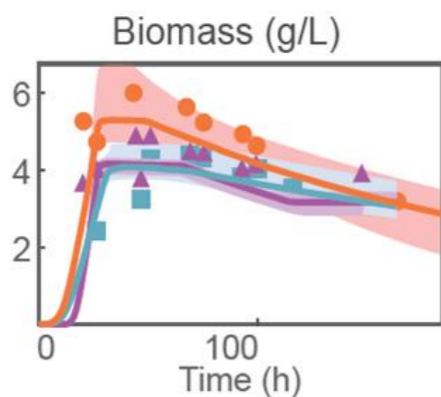
Henriques et al., 2022 (en revisión)

Rodríguez-Moimenta, et al. 2022 (en preparación)

Nuestro punto de partida

Proyectos previos: Modelos predictivos cinéticos que permiten predecir datos experimentales.
Probados para 11 cepas de levadura de los géneros *S. cerevisiae*, *S. uvarum*, *S. kudriavzevii* e híbridos

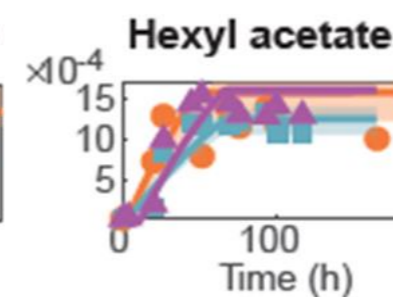
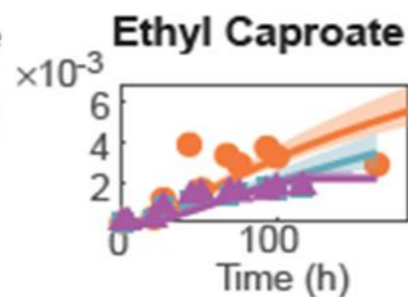
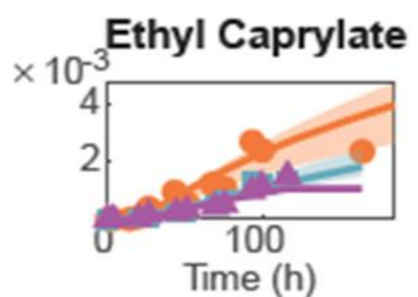
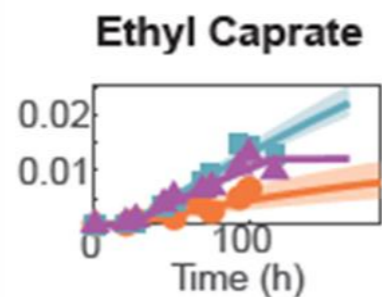
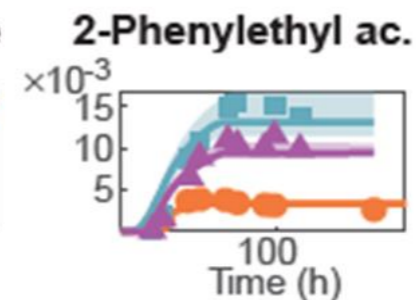
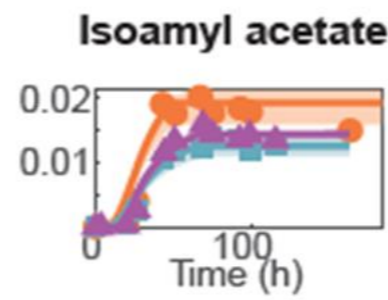
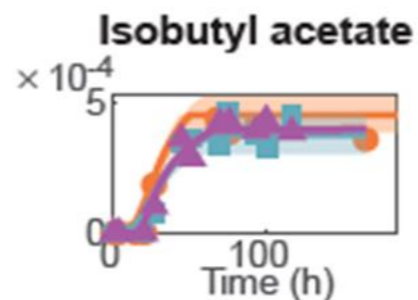
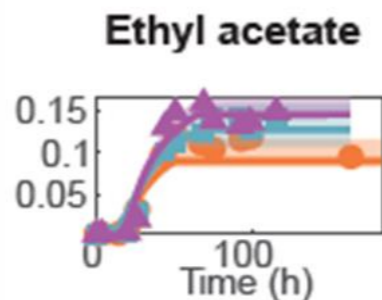
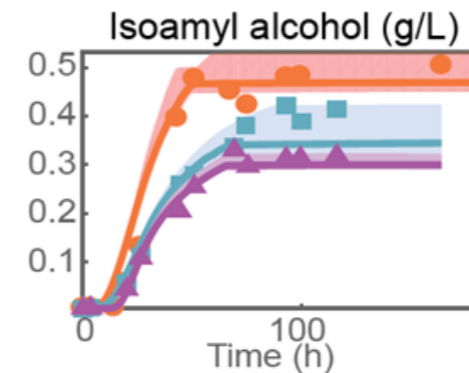
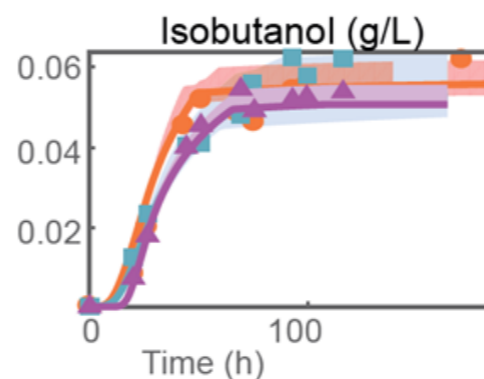
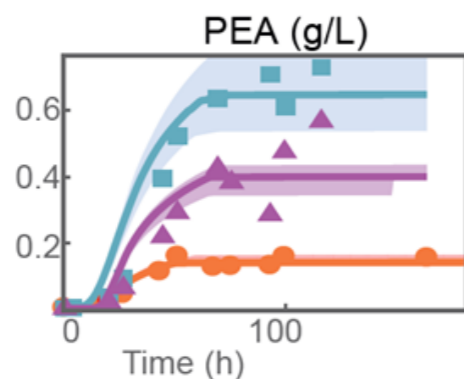
Sc T73
Su BMV58
Su CECT12600



Nuestro punto de partida

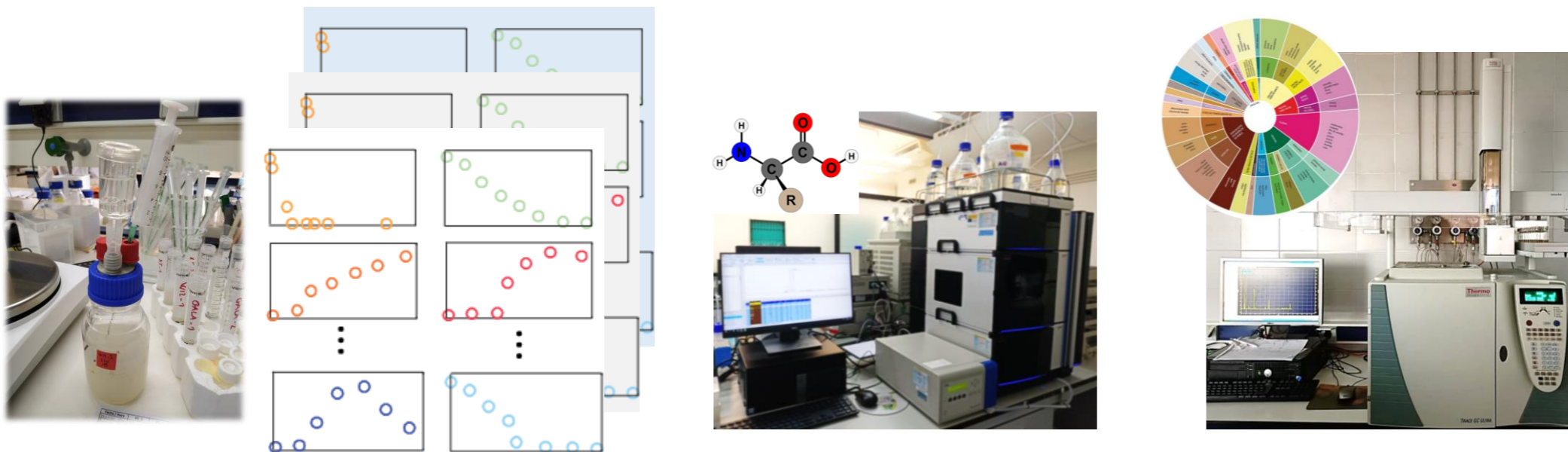
Proyectos previos: Modelos predictivos cinéticos que permiten predecir datos experimentales.
Probados para 11 cepas de levadura de los géneros *S. cerevisiae*, *S. uvarum*, *S. kudriavzevii* e híbridos

Sc T73
Su BMV58
Su CECT12600



¿En qué punto nos encontramos?

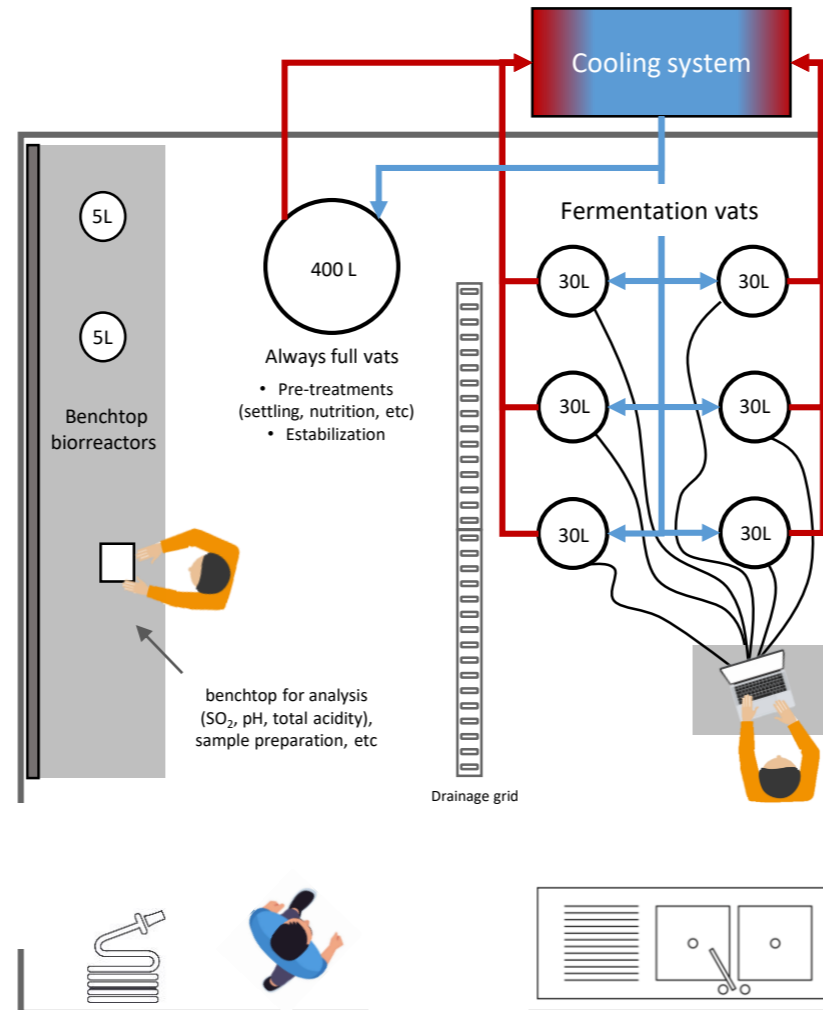
Fermentaciones: Datos experimentales para la calibración y validación de modelos



- 9 cepas; triplicados; 2 mostos; varias condiciones
- Medidas de biomasa, azúcares, etanol, glycerol, ácidos orgánicos, fuentes de nitrógeno y aromas

¿En qué punto nos encontramos?

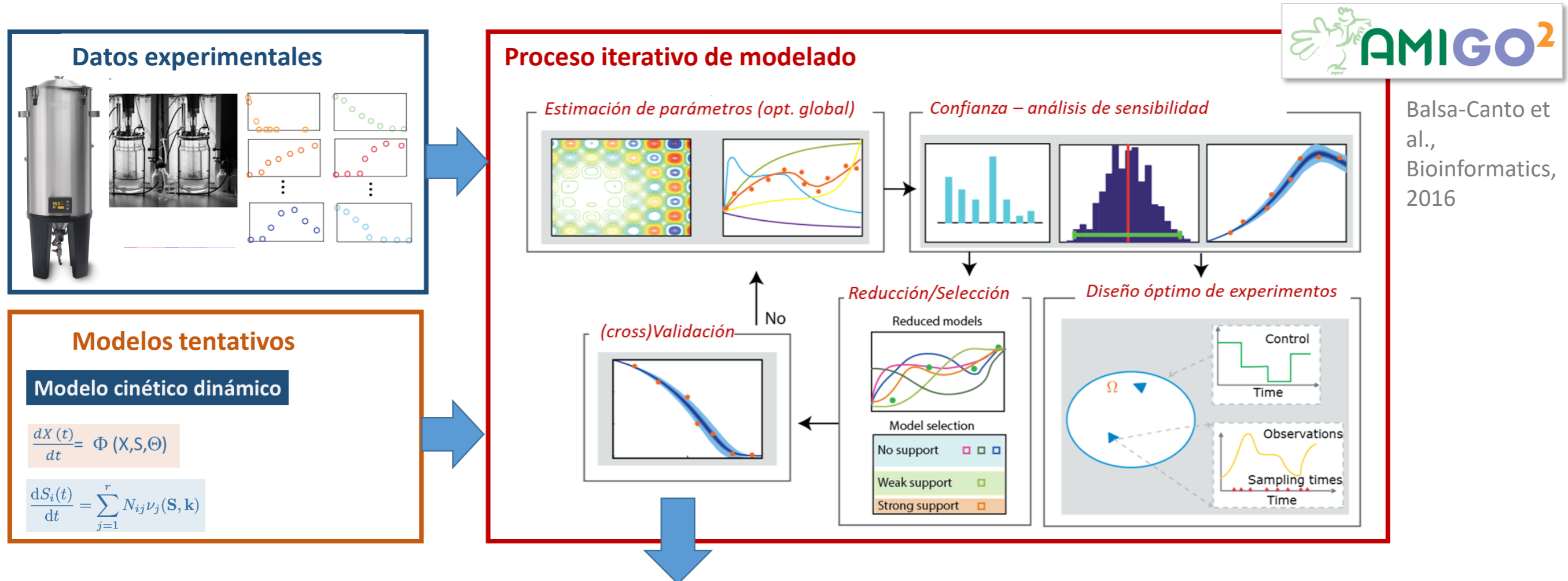
Diseño e instalación de la bodega a escala piloto. Sensorización.



¿En qué punto nos encontramos?



Software: calibración, selección y validación de modelos automatizado. Software optimización dinámica. Simulador del proceso fermentativo en Python.



**Optimización dinámica multi-objetivo.
Control predictivo basado en modelos.**

¿Cómo usamos el gemelo digital *off-line*?

Ejemplo ilustrativo

Digital twin – GUI

Composición del mosto

Glucose	Fructose	Inorganic N	Organic N
---------	----------	-------------	-----------	-------

Seleccione levadura

Yeast 1	Yeast 2	Yeast 3	Yeast 4	Yeast 5
---------	---------	---------	---------	---------	-------

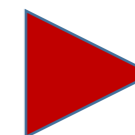
Temperatura de proceso

Time (up to)	T
144h	22°C

Suplementación de nutrientes

Time	N (mg/L)
0	0
24h	100

Simulación

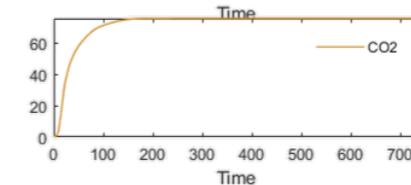
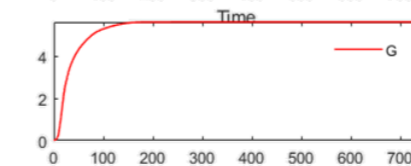
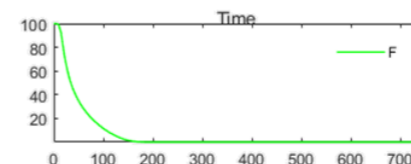
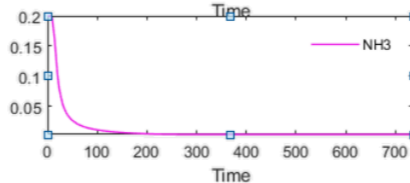
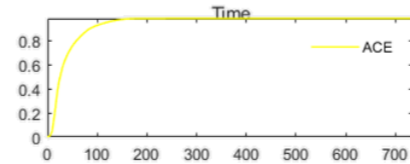
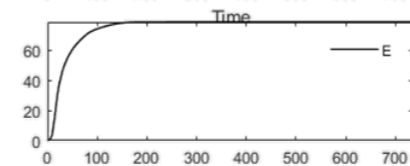
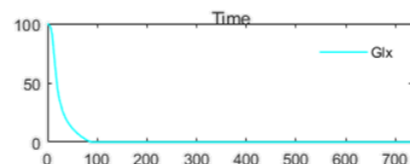
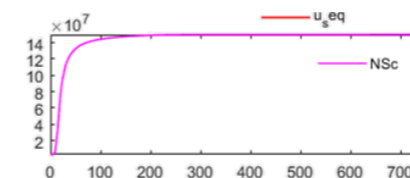


¿Cómo usamos el gemelo digital *off-line*?

Ejemplo ilustrativo

Visualización predicciones de la dinámica de la composición del vino

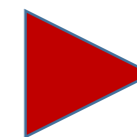
- Consumo de azúcares
- Consumo de nitrógeno
- Consumo de oxígeno
- Producción de etanol, glycerol, acetate, ácidos orgánicos, alcoholes superiors.



Digital twin – GUI

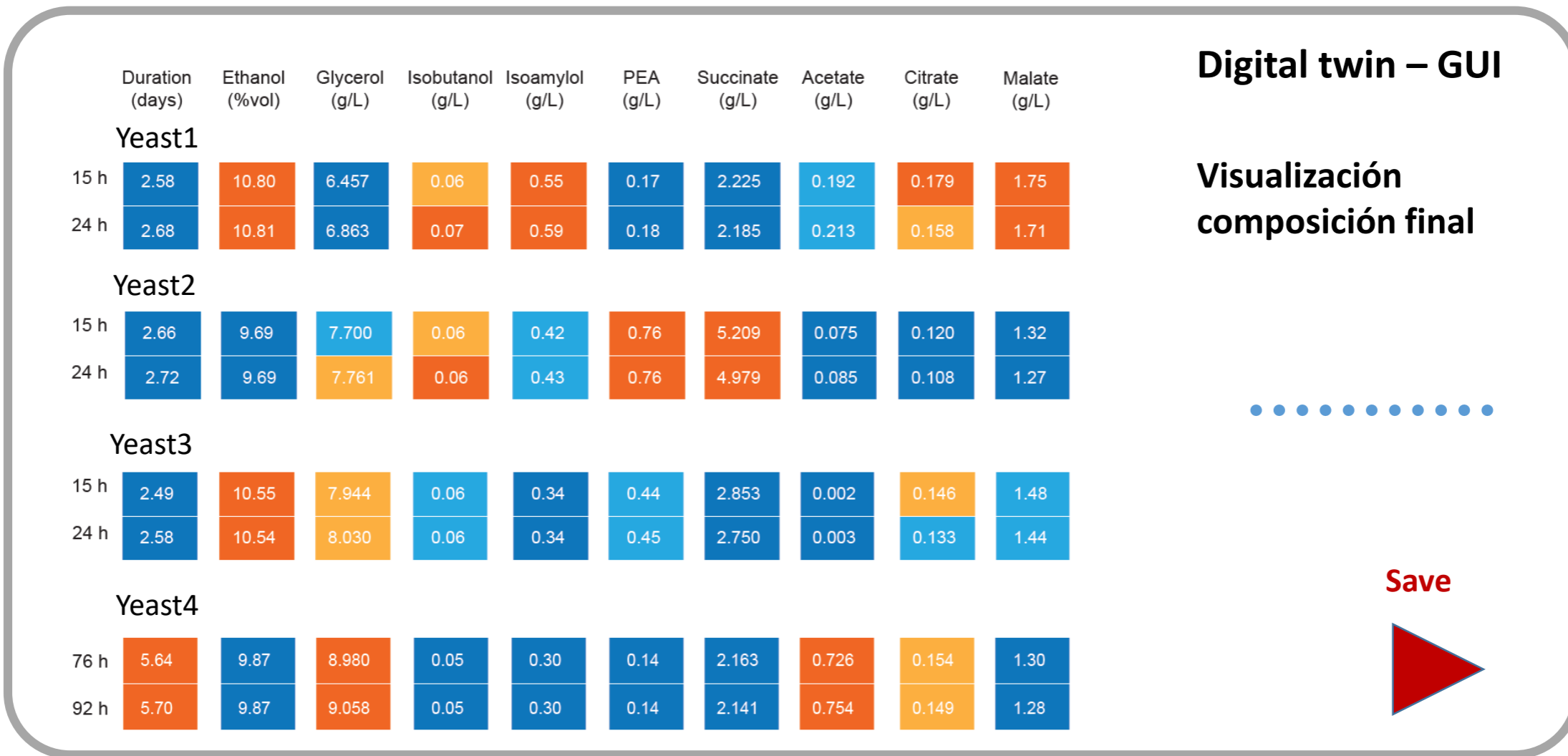


Save



¿Cómo usamos el gemelo digital *off-line*?

Ejemplo ilustrativo



¿Cómo usamos el gemelo digital *off-line*?

Ejemplo ilustrativo

Digital twin – GUI

Composición del mosto

Glucose	Fructose	Inorganic N	Organic N
---------	----------	-------------	-----------	-------

Seleccione levadura

Yeast 1	Yeast 2	Yeast 3	Yeast 4	Yeast 5
---------	---------	---------	---------	---------	-------

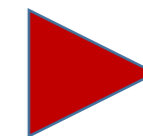
Optimización temperatura de proceso

Min T	Max T
12°C	22°C

Suplementación de nutrientes

Max
20

Optimize



Objetivos

Min energía	Min etanol	Max biomarcador	Otros...
-------------	------------	-----------------	----------

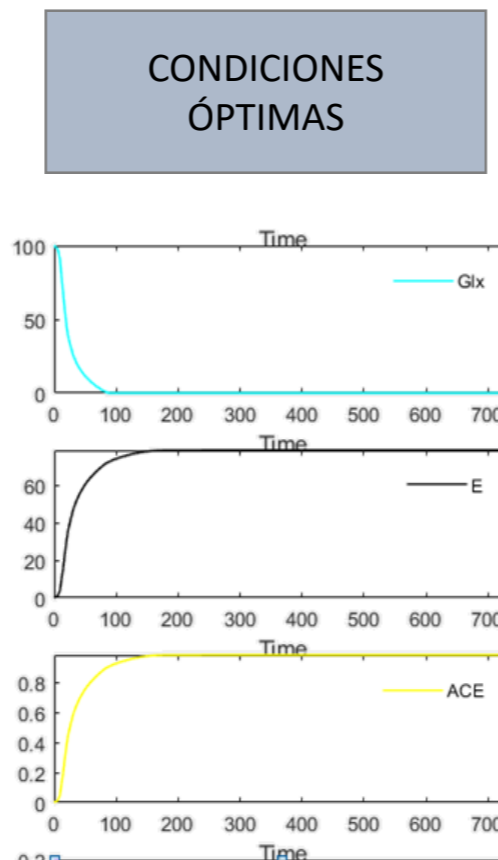
¿Cómo usamos el gemelo digital *off-line*?

Ejemplo ilustrativo

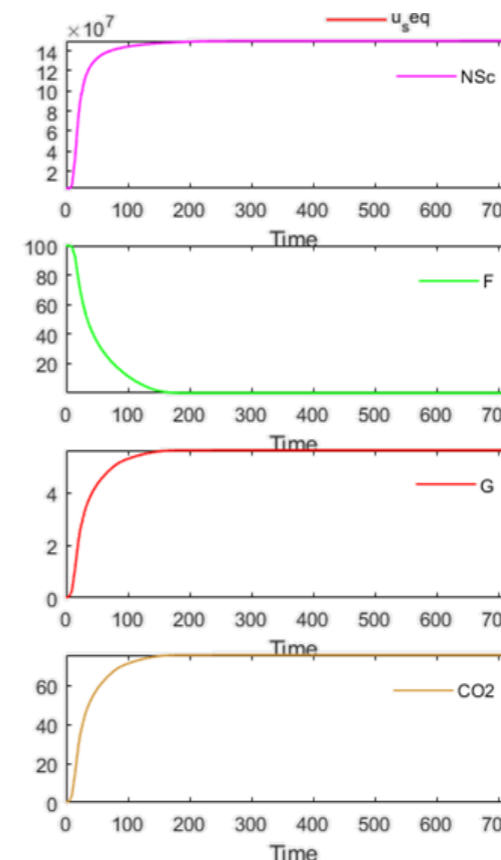
Condiciones óptimas

Representación gráfica de la dinámica de la composición del vino

- Consumo de azúcares
- Consumo de nitrógeno
- Consumo de oxígeno
- Producción de etanol, glicerol, acetate, ácidos orgánicos, alcoholes superiors.



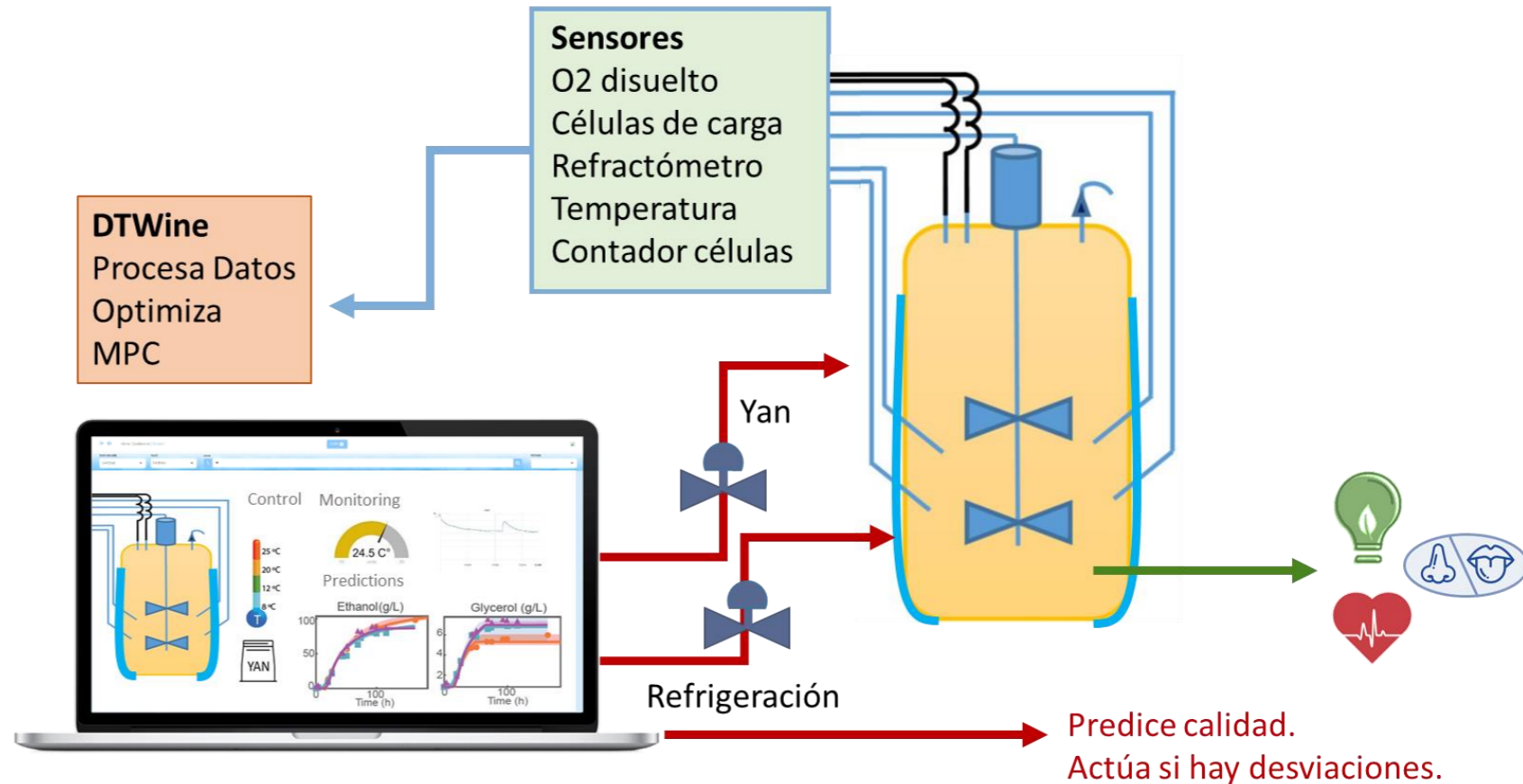
Digital twin – GUI



Save

¿Cómo usamos el gemelo digital *on-line* (tiempo real)?

- Durante el procesamiento, el gemelo digital **hace predicciones** que muestran el consumo/producción **futuro** de metabolitos **utilizando datos del pasado**, medidos por sensores.
- **Optimiza para el futuro** envía una señal a la capa de regulación de **temperatura**. Envía un mensaje al operador de la planta para adicionar las **fuentes de nitrógeno** (tiempo y cantidad).



Ventajas esperadas de DTwine



Selección automática del inóculo/cepa



Perfil óptimo de temperatura



Diseño nutrición (nitrogenada)



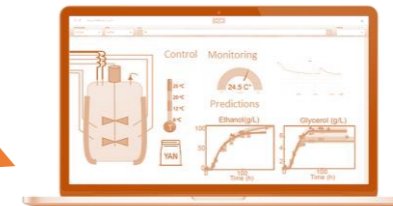
Optimización en tiempo real



Eficiencia energética



Reducción contenido etanol



Apoyo a la decisión; automatización

Mejor perfil aromático



Agradecimientos



David
Henriques



Artai
Rodríguez-
Moimenta



Diego Troitiño



Romain Minebois



Lainy J. Ramirez



Antonio Aguirre



DTWine





PTV
PLATAFORMA
TECNOLÓGICA
DEL VINO

Interprofesional del
VINO DE
ESPAÑA



AgroBank



Gemelos Digitales aplicados
al sector vitivinícola

DTWINE

Gemelos digitales para optimizar la fermentación vínica

Eva Balsa-Canto

ebalsa@iim.csic.es



Proyecto PLEC2021-007827 financiado por:

