



**Instituto LEICI, de Electrónica, Instrumentación,  
Control y Procesamiento de Señales  
Departamento de Electrotecnia- Facultad de Ingeniería-UNLP**

**Grupo de Control Aplicado (GCA-LEICI)**

***Simulador Dinámico Abierto de Cultivos Biológicos en  
Fotobiorreactores Tipo Raceway***

Valenciaga Fernando y Nuñez Sebastián

[fval@ing.unlp.edu.ar](mailto:fval@ing.unlp.edu.ar)

[sebastian.nuniez@ing.unlp.edu.ar](mailto:sebastian.nuniez@ing.unlp.edu.ar)

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”



## Usos de Cultivos en Raceways

- Producción de ácidos grasos para biodiesel
- Producción de biomasa con fines energéticos (combustión)
- Producción de componentes para alimentos balanceados
- Tratamiento de aguas residuales
- Primer eslabón de cadena de alimentación en piscicultura

## Ventajas:

- tienen una tasa de crecimiento superior comparada con granos (soja o maíz)
- requieren una menor ocupación del suelo
- no necesitan ubicaciones con suelo fértil
- no son fuente de alimentación humana
- fotosíntesis con alto consumo de carbono → cultivos complementarios de procesos fabriles como depuradores de emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ )

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”



## Usos de Cultivos en Raceways

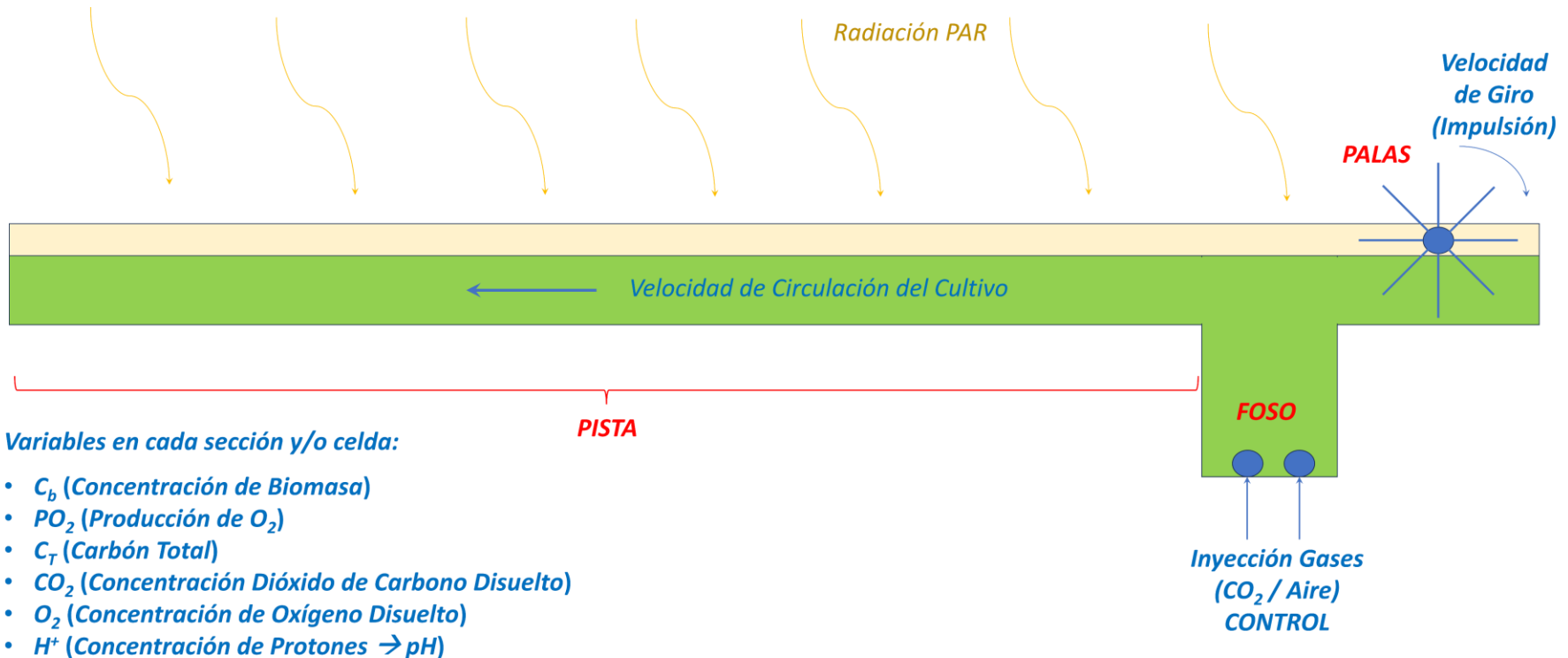
- Producción de ácidos grasos para biodiesel
- Producción de biomasa con fines energéticos (combustión)
- Producción de componentes para alimentos balanceados
- Tratamiento de aguas residuales
- Primer eslabón de cadena de alimentación en piscicultura

## Reducción de Costos de Producción

- Diseño y disposición de los fotobiorreactores (geometría, altura de paredes, diseño de deflectores, eficiencia de impulsión, etc.)
- Determinación de variables operativas óptimas (caudales de inyección, velocidad de circulación, altura de los cultivos, horario y volumen de cosechas, etc.)
- Búsqueda/diseño de variedad de microalga específica para el clima/latitud de emplazamiento (variedades híbridas, modificación genética, etc.)
- **Control dinámico de variables operativas sensibles para la microalga seleccionada (control de pH y  $O_2$  disuelto por inyección de burbujas de gases que contengan buenos porcentajes de  $CO_2$  u  $O_2$  respectivamente)**

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

## Modelos Dinámicos Orientados al Control



### Modelo Orientado al Control

Modelo dinámico biológico/químico del foso

Modelo dinámico biológico/químico de la pista

~~Modelo dinámico biológico/químico de las palas~~

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

**Radiación PAR → Radiación promedio  $I_{av}$**

$$I_{av}(t, x) = \frac{I_o(t)}{h K_a C_b(t, x)} (1 - e^{-h K_a C_b(t, x)})$$

$$P_{O_2}(t, x) = \frac{\alpha_s \hat{P}_{O_2} I_{av}^n(t, x)}{K_i e^{m I_{av}(t, x)} + I_{av}^n(t, x)} F_{O_2} F_{pH} F_T - (1 - \alpha_s) R_{O_2} \quad \left. \vphantom{\frac{\alpha_s \hat{P}_{O_2} I_{av}^n(t, x)}} \right\} \text{Fotosíntesis}$$

$$P_{CO_2}(t, x) = -P_{O_2}(t, x)$$

$$F_{O_2} = \left( 1 - \left( \frac{[O_2(t, x)]}{K_{O_2}} \right)^z \right)$$

$$F_{pH} = B_1 e^{\frac{-C_1}{pH(t, x)}} - B_2 e^{\frac{-C_2}{pH(t, x)}}$$

$$F_T = \frac{(T - T_{max})(T - T_{min})^2}{(T_{opt} - T_{min})[(T_{opt} - T_{min})(T - T_{opt}) - (T_{opt} - T_{max})(T_{opt} + T_{min} - 2T)]}$$

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

## Modelo Dinámico de la Pista:

$$\frac{\partial C_b(t, x)}{\partial t} = -v \frac{\partial C_b(t, x)}{\partial x} + P_{O_2}(t, x) C_b(t, x) Y_{b/O_2} \longrightarrow \text{Concentración de Biomasa}$$

## Oxígeno disuelto

$$\frac{\partial [O_2](t, x)}{\partial t} = -v \frac{\partial [O_2](t, x)}{\partial x} + \frac{P_{O_2}(t, x) C_b(t, x)}{M_{O_2}} + K_{la_{O_2}p} ([O_2^*](t, x) - [O_2](t, x))$$

## Carbón Total

$$\frac{\partial [C_T](t, x)}{\partial t} = -v \frac{\partial [C_T](t, x)}{\partial x} + \frac{P_{CO_2}(t, x) C_b(t, x)}{M_{CO_2}} + K_{la_{CO_2}p} ([CO_2^*](t, x) - [CO_2](t, x))$$

$$[\dot{CO}_2](t, x) = [\dot{C}_T](t, x) / (P_2 - P_1 P_3 [CO_2](t, x)) \longrightarrow \text{Dióxido de Carbono disuelto}$$

$$[\dot{H}^+](t, x) = P_3 [\dot{CO}_2](t, x) \longrightarrow pH = -\log([H^+])$$

$$P_1 = \frac{K_1}{[H^+](t, x)^2} + \frac{2K_1K_2}{[H^+](t, x)^3} \quad P_2 = 1 + \frac{K_1}{[H^+](t, x)} + \frac{K_1K_2}{[H^+](t, x)^2}$$

$$P_3 = \frac{\left( \frac{K_1}{[H^+](t, x)} + \frac{2K_1K_2}{[H^+](t, x)^2} \right)}{\left( 1 + \frac{K_w}{[H^+](t, x)^2} + \frac{K_1[CO_2](t, x)}{[H^+](t, x)^2} + 4 \frac{K_1K_2[CO_2](t, x)}{[H^+](t, x)^3} \right)}$$

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

## Modelo Dinámico del Foso:

### Parte Líquida:

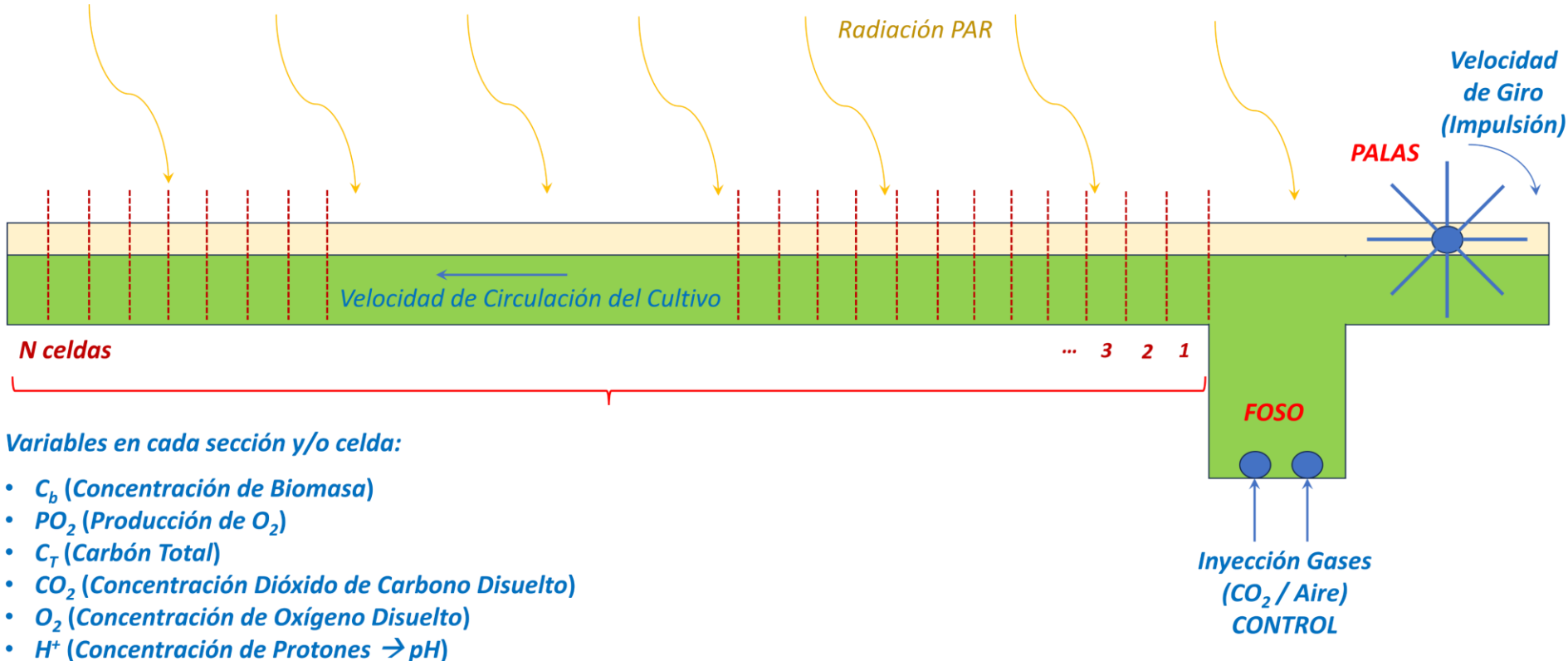
$$\begin{aligned}\dot{C}_{bf} &= -\frac{Q_{liq}}{V_{fc}}(C_{bf} - C_{bin}) + P_{O_2f} C_{bf} Y_{b/O_2} - \frac{Q_m}{V_s(1 - \varepsilon_f)} C_{bf} \\ [\dot{O}_2]_f &= \frac{-Q_{liq}}{V_{fc}}([O_2]_f - [O_2]_{in}) + \frac{P_{O_2f} C_{bf}}{M_{O_2}} + K_{la_{O_2f}}([O_2^*]_g - [O_2]_f)_{lm} + \frac{Q_m}{V_{fc}}([O_2]_m - [O_2]_f) \\ [\dot{C}_T]_f &= \frac{-Q_{liq}}{V_{fc}}([C_T]_f - [C_T]_{in}) + \frac{P_{CO_2f} C_{bf}}{M_{CO_2}} + K_{la_{CO_2f}}([CO_2^*]_g - [CO_2]_f)_{lm} \\ &\quad + \frac{Q_m}{V_{fc}}([C_T]_m - [C_T]_f) \\ [CO_2](t, x) &= [\dot{C}_T](t, x) / (P_2 - P_1 P_3 [CO_2](t, x)) \\ [H^+](t, x) &= P_3 [CO_2](t, x) \longrightarrow pH = -\log([H^+])\end{aligned}$$

### Parte Gaseosa:

$$\begin{aligned}\frac{dY_{O_2 out}}{dt} &= -\frac{Q_g}{V_{fc}}(Y_{O_2 out} - Y_{O_2 in}) + K_{la_{O_2f}} \frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon)} \frac{V_{mol}}{y_{N_2}} ([O_2^*]_g - [O_2])_{lm} \\ \frac{dY_{CO_2 out}}{dt} &= -\frac{Q_g}{V_{fc}}(Y_{CO_2 out} - Y_{CO_2 in}) + K_{la_{CO_2f}} \frac{V_{mol}}{y_{N_2}} \frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon)} ([CO_2^*]_g - [CO_2])_{lm}\end{aligned}$$

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

Resolución con “Celdas Viajeras” → Flujo Pistón

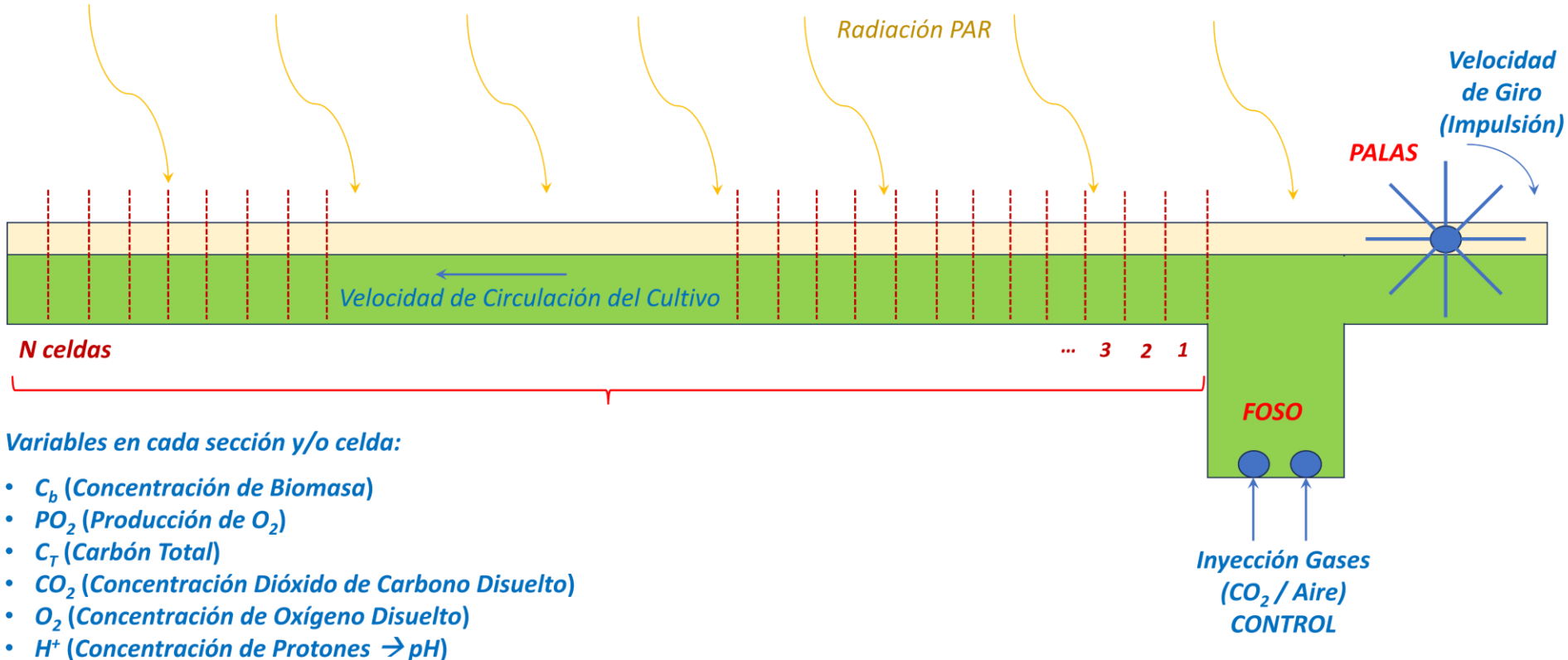


## Celdas Viajeras

En cada paso de cálculo la posición de cada celda es ocupada completamente por el volumen de fluido de la celda anterior, sin mezclarse. La dinámica de las concentraciones de cada una de las celdas se mantiene aislada de las adyacentes.

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

Resolución con “Celdas Viajeras” → Flujo Pistón



Celdas Viajeras →  $N \approx L/(v\Delta t)$      $\Delta x = v\Delta t$

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

**Modelo dinámico de la pista para cada celda (*i*) en el instante (*k*):**

$$\left[ C_{b,i}^{(k)} \right] = \left[ C_{b,i}^{(k-1)} \right] + P_{O_2,i}^{(k-1)} \left[ C_{b,i}^{(k-1)} \right] Y_{b/O_2} \Delta t \quad \text{Concentración de Biomasa}$$

$$\left[ O_{2,i}^{(k)} \right] = \left[ O_{2,i}^{(k-1)} \right] + \left( \frac{P_{O_2,i}^{(k-1)} \left[ C_{b,i}^{(k-1)} \right]}{M_{O_2}} + K_{la_{O_2p}} \left( [O_2^*] - \left[ O_{2,i}^{(k-1)} \right] \right) \right) \Delta t \quad \text{Oxígeno disuelto}$$

$$\left[ C_{T,i}^{(k)} \right] = \left[ C_{T,i}^{(k-1)} \right] + \left( \frac{P_{CO_2,i}^{(k-1)} \left[ C_{b,i}^{(k-1)} \right]}{M_{CO_2}} + K_{la_{CO_2p}} \left( [CO_2^*] - \left[ CO_{2,i}^{(k-1)} \right] \right) \right) \Delta t \quad \text{Carbón Total}$$

$$\left[ CO_{2,i}^{(k)} \right] = \left[ CO_{2,i}^{(k-1)} \right] + \left( \left[ C_{T,i}^{(k)} \right] - \left[ C_{T,i}^{(k-1)} \right] \right) / \left( P_2 - P_1 P_3 \left[ CO_{2,i}^{(k-1)} \right] \right) \quad \text{Dióxido de Carbono}$$

$$\left[ H_i^{+(k)} \right] = \left[ H_i^{+(k-1)} \right] + P_3 \left( \left[ CO_{2,i}^{(k)} \right] - \left[ CO_{2,i}^{(k-1)} \right] \right) \quad \text{Protones}$$

$\longrightarrow \quad pH = -\log([H^+])$

**$P_1$  ,  $P_2$  y  $P_3$  con las mismas expresiones anteriores**

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

## Modelo Dinámico del Foso en cada instante (k):

### Parte Líquida:

$$[C_{b,f}^{(k)}] = [C_{b,f}^{(k-1)}] + P_{O_2f}^{(k-1)} [C_{b,f}^{(k-1)}] Y_{b/O_2} \Delta t$$

$$[O_{2,f}^{(k)}] = [O_{2,f}^{(k-1)}] + \left( \frac{P_{O_2f}^{(k-1)} [C_{b,f}^{(k-1)}]}{M_{O_2}} + K_{la_{O_2f}} \left( [O_2^*]_f^{(k-1)} - [O_{2,f}^{(k-1)}] \right)_{lm} \right) \Delta t$$

$$[C_{T,f}^{(k)}] = [C_{T,f}^{(k-1)}] + \left( \frac{P_{CO_2f}^{(k-1)} [C_{b,f}^{(k-1)}]}{M_{CO_2}} + K_{la_{CO_2f}} \left( [CO_2^*]_f^{(k-1)} - [CO_{2,f}^{(k-1)}] \right)_{lm} \right) \Delta t$$

$$[CO_{2,f}^{(k)}] = [CO_{2,f}^{(k-1)}] + \left( [C_{T,f}^{(k)}] - [C_{T,f}^{(k-1)}] \right) / \left( P_2 - P_1 P_3 [CO_{2,f}^{(k-1)}] \right)$$

$$[H_f^{+(k)}] = [H_f^{+(k-1)}] + P_3 \left( [CO_{2,f}^{(k)}] - [CO_{2,f}^{(k-1)}] \right) \longrightarrow pH_f = -\log \left( [H_f^{+(k)}] \right)$$

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

## Modelo Dinámico del Foso en cada instante ( $k$ ):

### Parte Gaseosa:

**Relación Molar de  $O_2$  a  $N_2$  del gas escapando al ambiente**

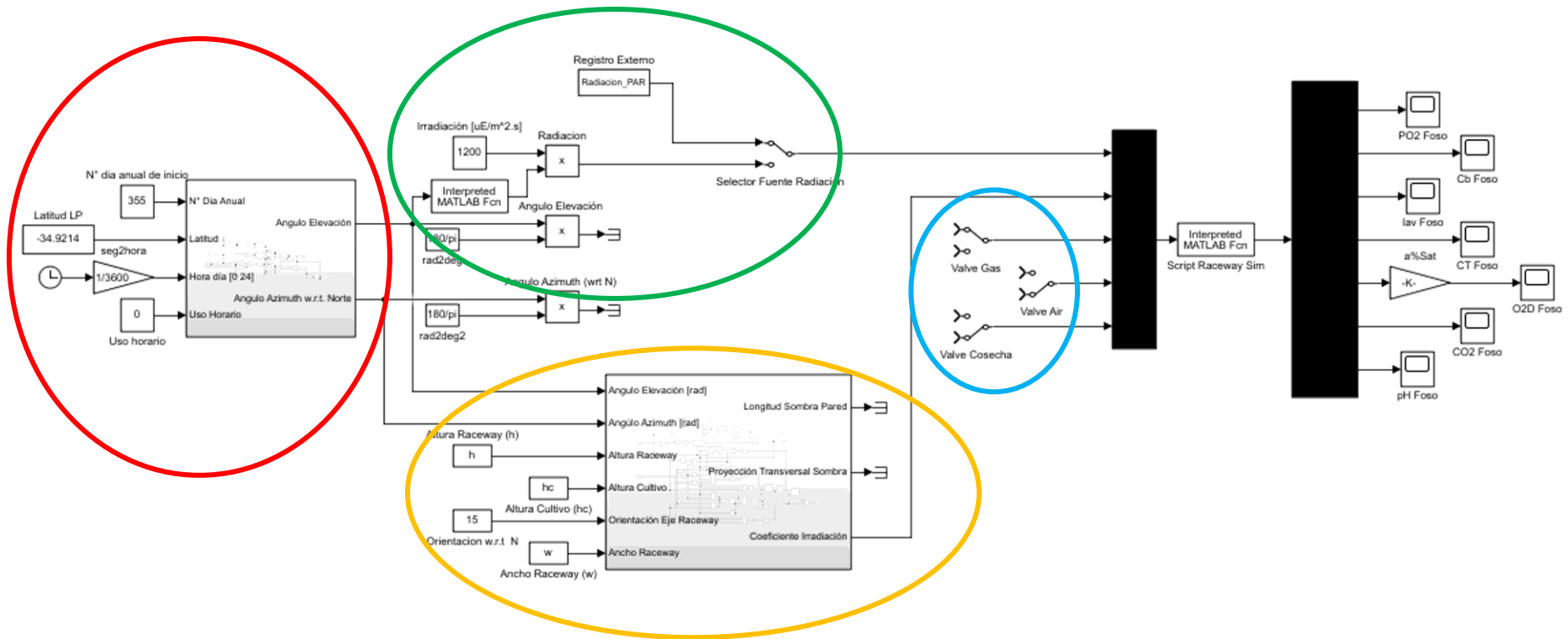
$$Y_{O_2out}^{(k)} = Y_{O_2out}^{(k-1)} + \left( -\frac{Q_g}{V_f(1-\varepsilon)} \left( Y_{O_2out}^{(k-1)} - Y_{O_2in}^{(k-1)} \right) + K_{la_{O_2f}} \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)} \frac{V_{mol}}{y_{N_2}} \left( [O_2^*]_g - [O_{2,f}^{(k-1)}] \right)_{lm} \right) \Delta t$$

**Relación Molar de  $CO_2$  a  $N_2$  del gas escapando al ambiente**

$$Y_{CO_2out}^{(k)} = Y_{CO_2out}^{(k-1)} + \left( -\frac{Q_g}{V_f(1-\varepsilon)} \left( Y_{CO_2out}^{(k-1)} - Y_{CO_2in}^{(k-1)} \right) + K_{la_{CO_2f}} \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)} \frac{V_{mol}}{y_{N_2}} \left( [CO_2^*]_g - [CO_{2,f}^{(k-1)}] \right)_{lm} \right) \Delta t$$

# Fotobiorreactores Tipo “Raceway”

## Primera Versión Operativa del Simulador en MATLAB®



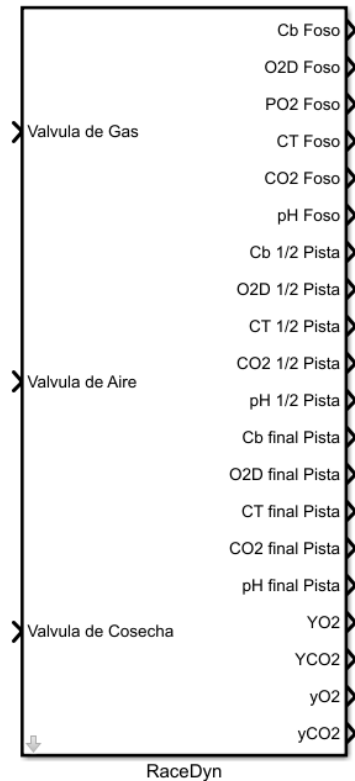
*Posición, Orientación, Día Anual y Huso Horario*

*Coeficiente de Sombra sobre el Cultivo*

*Radiación PAR senoidal o Archivo Externo*

*Controles ( $Q_g$ ,  $Q_a$ ,  $Q_m$ )*

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®



*Entradas (Control) :*

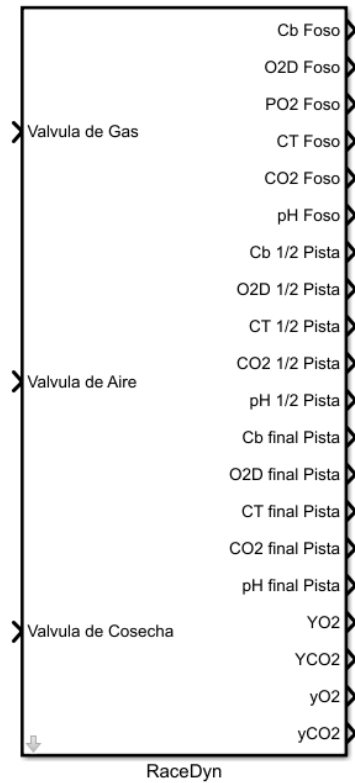
- Válvula Gas*
- Válvula Aire*
- Válvula Cosecha*

*Salidas :*

- Concentración de biomasa en foso, media pista y final de pista*
- Concentración de  $O_2$  disuelto en foso, media pista y final de pista*
- Concentración de  $CO_2$  disuelto en foso, media pista y final de pista*
- Concentración de  $C_T$  en foso, media pista y final de pista*
- pH en foso, media pista y final de pista*
- Fracciones molares de  $O_2$  y  $CO_2$  de los gases de salida (venteo a atmósfera)*

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## *Selección de parámetros geográficos, orientación y estacionalidad*



Block Parameters: Raceway SimDyn

Subsystem (mask)

Parameters

Geograficas Raceway Funcionamiento Alga Constantes Simulación Condiciones Iniciales

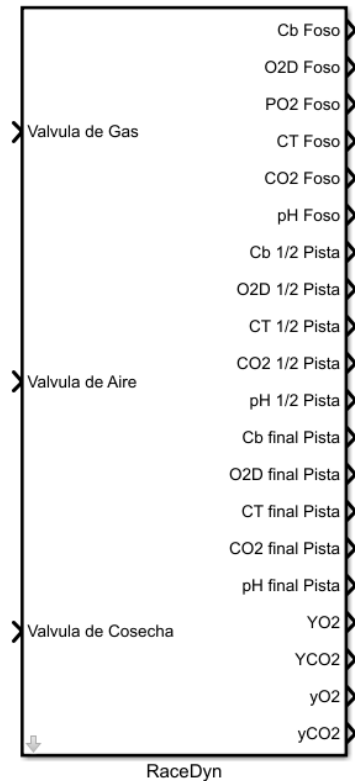
Latitud [°] -34.9214 Orientation [° respecto al Norte] 15

Dia de inicio 365

OK Cancel Help Apply

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Selección de parámetros dimensionales del Fotobiorreactor



Block Parameters: Raceway SimDyn

Subsystem (mask)

Parameters

Geograficas Raceway Funcionamiento Alga Constantes Simulación Condiciones Iniciales

Longitud Raceway [m] 100 Longitud del foso [m] 1

Ancho Raceway [m] 1 Ancho del foso [m] 1

Altura de pared [m] 0.46 Profundidad del foso [m] 0.65

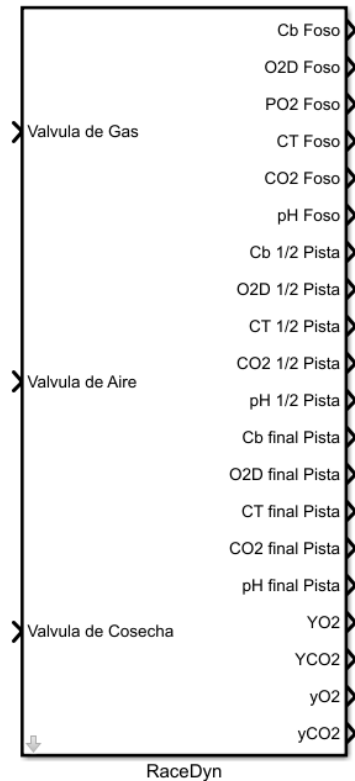
Altura del cultivo [m] 0.1626

Resetear parametros

OK Cancel Help Apply

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Selección de parámetros operativos del Fotobiorreactor



Block Parameters: Raceway SimDyn

Subsystem (mask)

Parameters

Geograficas Raceway Funcionamiento Alga Constantes Simulación Condiciones Iniciales

Cargar espectro Radiación

Caudales De Inyección

Caudal de Gas [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] 0.0016

Caudal de Aire [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] 0.001666

Caudal de Cosecha [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] 1.3889e-4

Composición del Gas

Fraccion molar de O2 0.06

Fraccion molar de CO2 0.1

Fraccion molar de N2 0.78

Medio de Reemplazo

Concentracion de O2 total en el medio inyectado [ $\text{mol}/\text{m}^3$ ] 0.1

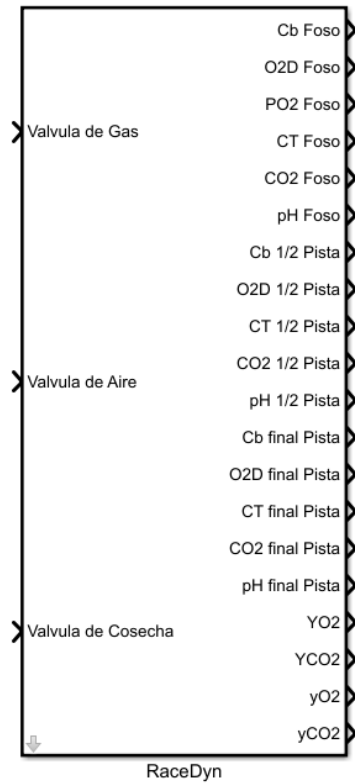
Concentracion de carbón total en el medio inyectado [ $\text{mol}/\text{m}^3$ ] 1.78

Velocidad del agua [ $\text{m}/\text{s}$ ] 0.2

OK Cancel Help Apply

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Selección de parámetros de la $\mu$ Alga seleccionada



Block Parameters: Raceway SimDyn

Subsystem (mask)

Parameters

Geograficas Raceway Funcionamiento **Alga** Constantes Simulación Condiciones Iniciales

Cargar Algas

Parametros Algas

Tipo de alga ALGA REAL

Ka [m<sup>2</sup>/Kg] 80 PO2\_mx [Kg de O2/Kg.s] 4.46e-06

Yb\_O2 (eq P02/biomasa) 1.49 KI [uE/m<sup>2</sup> s] 174

KO2 [mol/m<sup>3</sup>] 0.8373 RO2 [Kg de O2/Kg.s] 5e-08

factores de forma

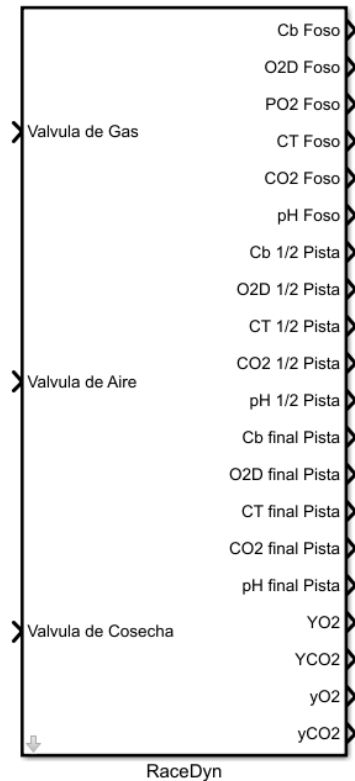
m 0.0022 n 1.045 z 5.49 B1 2.4098

B2 533.009 C1 6.2684 C2 68.8062

OK Cancel Help Apply

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Selección de constantes de transferencia del Fotobiorreactor



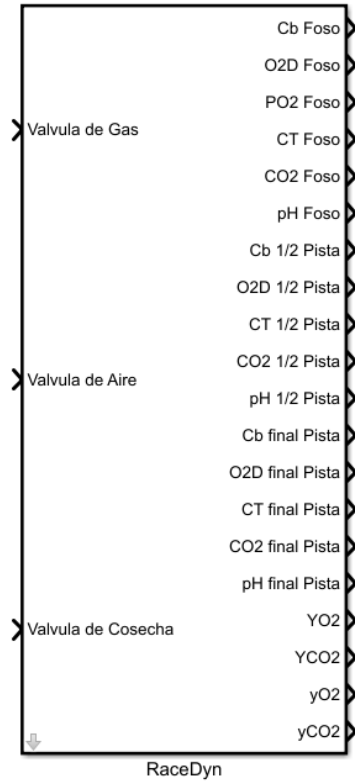
Ventana de parámetros del simulador RaceDyn. El título es 'Block Parameters: Raceway SimDyn'. La pestaña seleccionada es 'Constantes'. Dentro de esta pestaña, hay sub-pestañas para 'Transferencia' y 'Universales'. La sub-pestaña 'Transferencia' está activa y muestra tres secciones de parámetros:

- CTE PISTA**
  - KlaO2 dia % [1/s]: 7e-05
  - KlaCO2 dia % [1/s]: 6.37e-05
  - KlaO2 noche % [1/s]: 1.81444912781236e-05
  - KlaCO2 noche % [1/s]: 1.65114870630925e-05
- CTE FOSO**
  - KlaO2 dia % [1/s]: 0.001
  - KlaCO2 dia % [1/s]: 0.00091
  - KlaO2 noche % [1/s]: 0.00026889400099479
  - KlaCO2 noche % [1/s]: 0.000244693540905259
- CTE PALAS (NO USADO)**
  - KlaO2 dia % [1/s]: 0.01
  - KlaCO2 dia % [1/s]: 0.0091
  - KlaO2 noche % [1/s]: 4.16054416616536e-05
  - KlaCO2 noche % [1/s]: 3.78609519121048e-05

En la parte inferior de la ventana, hay un botón 'Cargar CTES mediante CSV' que está rodeado por un círculo rojo. En la parte inferior derecha, hay botones 'OK', 'Cancel', 'Help' y 'Apply'.

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Selección de parámetros operativos del Fotobiorreactor



The dialog box 'Block Parameters: Raceway SimDyn' contains several tabs: Geograficas, Raceway, Funcionamiento, Alga, Constantes, Simulación, and Condiciones Iniciales. The 'Simulación' tab is selected, showing sub-tabs for 'Transferencia' and 'Universales'. The 'Transferencia' sub-tab is active, displaying the following parameters:

Composición del Aire	
Fraccion molar de O2	0.21
Fraccion molar de CO2	0.000378
Fraccion molar de N2	0.76

Pesos Moleculares	
Peso molecular O2 [Kg/mol]	0.032
Peso molecular CO2 [Kg/mol]	0.044
volumen de mol de gas a 0°C y 1 atm [m³/mol]	0.0224

Buffer De Carbono	
K1 [mol/m³]	0.000415910610494022
K2 [mol/m³]	4.19758983991007e-08
Kw [mol/m⁶]	1e-08

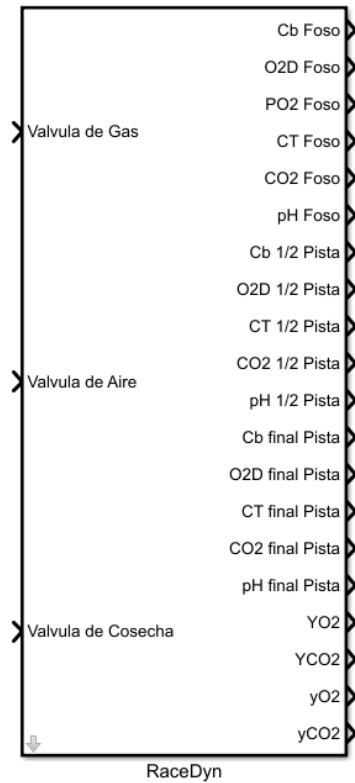
Ctes de Henry - 1 atm 20°C	
Cte de Henry O2 [mol/(atm.m³)]	1.07
Cte de Henry CO2 [mol/(atm.m³)]	33.2

A button labeled 'Cargar CTES mediante CSV' is circled in red at the bottom of the parameter list.

At the bottom right of the dialog box are buttons for 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply'.

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Selección de paso y tiempo de simulación



Block Parameters: Raceway SimDyn

Subsystem (mask)

Parameters

Geograficas Raceway Funcionamiento Alga Constantes Simulación Condiciones Iniciales

Paso de simulación (dt)[seg] 0.5

Tiempo de Simulacion [horas] 24

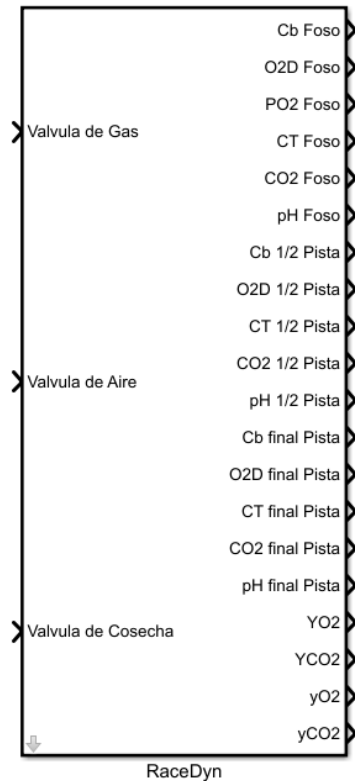
Dx ( $v \cdot dt$ ) 0.1

Cantidad de Dx (Longitud pista/Dx) 1000

OK Cancel Help Apply

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Selección condiciones iniciales y características del medio de reemplazo



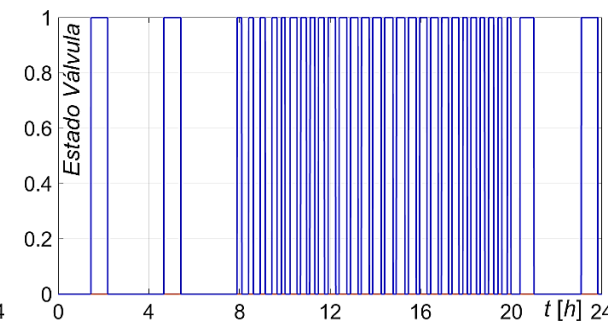
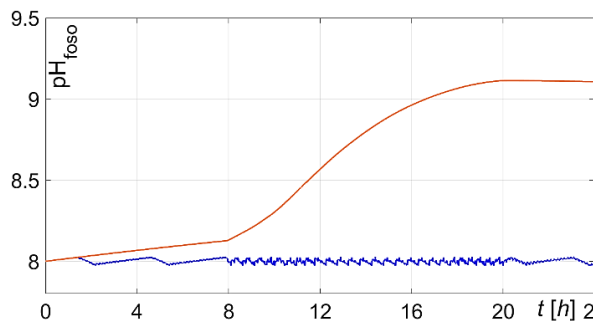
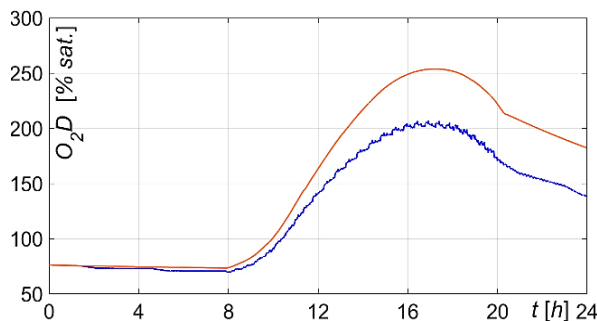
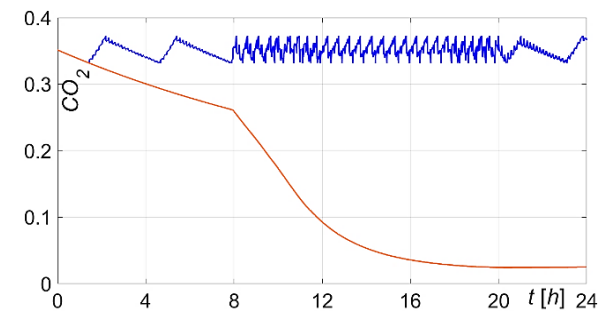
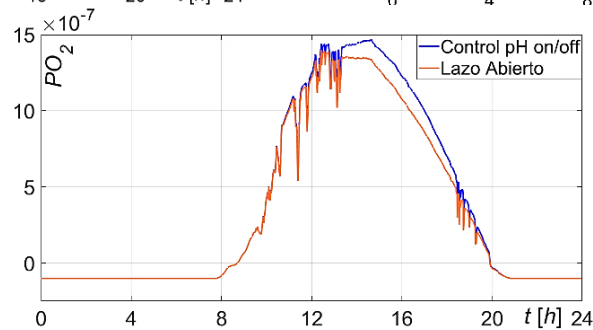
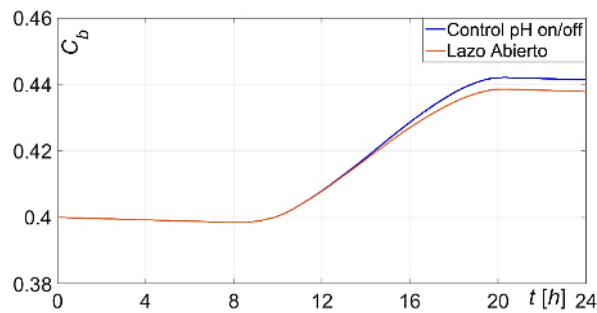
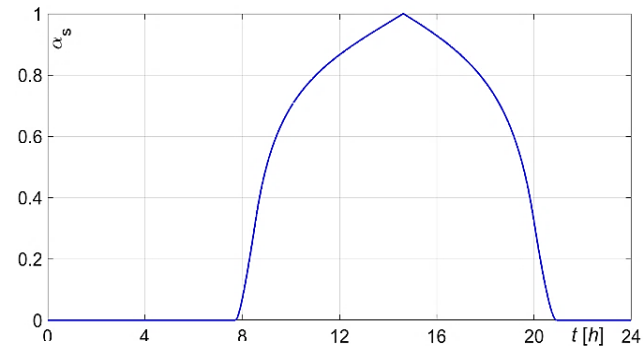
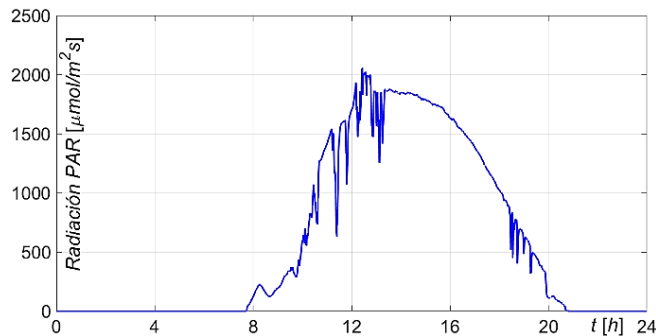
The dialog box 'Block Parameters: Raceway SimDyn' has a 'Subsystem (mask)' section and a 'Parameters' section. The 'Parameters' section has several tabs: 'Geograficas', 'Raceway', 'Funcionamiento', 'Alga', 'Constantes', 'Simulación', and 'Condiciones Iniciales'. The 'Condiciones Iniciales' tab is selected, showing a checkbox for 'Condiciones Iniciales Uniformes' which is checked. Below this, there are four input fields with their respective units and values:

- Concentración uniforme de biomasa [g/L o Kg/m<sup>3</sup>]: 0.4
- Porcentaje uniforme de saturacion de O2: 0.170772
- concentración uniforme de Carbon Total [mol/m<sup>3</sup>]: 15.0346657933451
- Concentracion uniforme de pH: 8

At the bottom right, there are four buttons: 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply'.

# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®

## Resultados del simulador RaceDyn (S-function)



# Simulador SABANA - APP MATLAB®

UI Figure

Play

Stop

Simulation completed!

Control

☐ Manual

☒ Automatic

Initialization Biologic variables Design parameters Control design

Setpoints

pHref

ODref

pH/OD control

☒ pH control ☐ OD control ☐ OD + pH control

ON/OFF - PI control

☒ ON/OFF

☐ PI

Kp

Ti

Day/night control

☐ Day control

☒ Day and night control

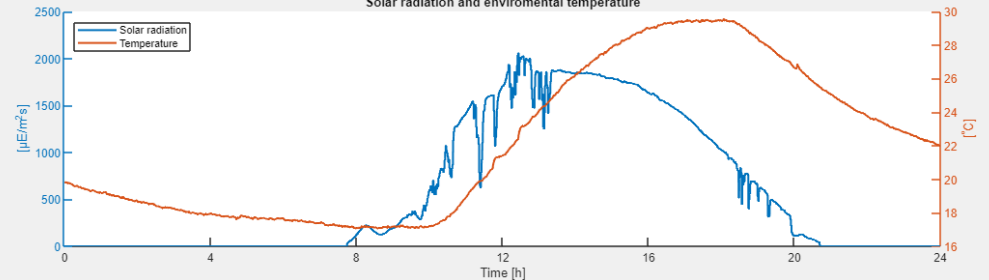
Results

PO2  mg/L dia CO2  L/L dia Pb  g/L dia

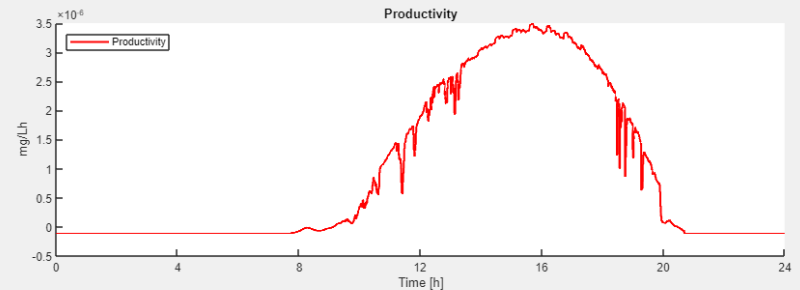


DO, pH, Inputs Radiation, Temperature, Productivity, Cb

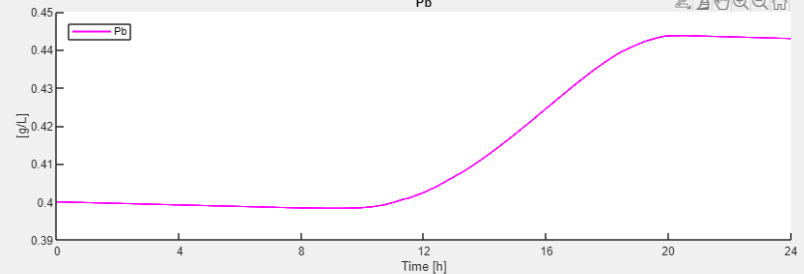
Solar radiation and enviromental temperature



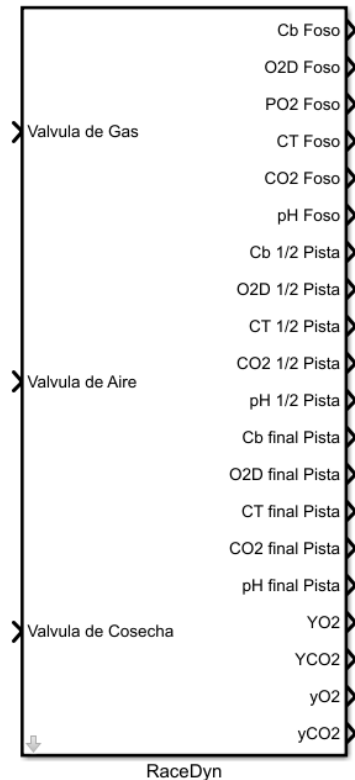
Productivity



Pb



# Simulador RaceDyn en MATLAB-SIMULINK®



## *Características del simulador RaceDyn (S-function)*

- Permite usar perfiles de radiación y temperatura externos
- Incorpora los efectos de sombra correspondientes a la posición geográfica y días del año simulados
- Permite fijar los parámetros de la microalga cultivada
- Permite variar todos los parámetros del fotobiorreactor
- Permite modificar las condiciones operativas (velocidades, caudales, etc.)
- Permite incorporar diseños de controladores sin restricción.
- Si bien se obtuvieron resultados de simulación compatibles con diferentes trabajos en revista, resta una etapa de validación exhaustiva que permita homologarlo como herramienta



**Instituto LEICI, de Electrónica, Instrumentación,  
Control y Procesamiento de Señales  
Departamento de Electrotecnia- Facultad de Ingeniería-UNLP**

**Grupo de Control Aplicado (GCA-LEICI)**

***Simulador Dinámico Abierto de Cultivos Biológicos en  
Fotobiorreactores Tipo Raceway***

Valenciaga Fernando y Nuñez Sebastián

[fval@ing.unlp.edu.ar](mailto:fval@ing.unlp.edu.ar)

[sebastian.nuniez@ing.unlp.edu.ar](mailto:sebastian.nuniez@ing.unlp.edu.ar)