

# **Growth and Climate Model for Meñaka Greenhouse**

HortiMED Report

Deyviss Jesús Oroya-Villalta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidad de Deusto, Avenida de las Universidades 24, 48007 Bilbao, Basque Country, Spain*

April 23, 2021

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Data Description</b>	<b>3</b>
2.1	Available data . . . . .	3
2.2	Análisis estadístico de las bases de datos . . . . .	4
2.3	Conclusion . . . . .	4
<b>3</b>	<b>External Climate Variables prediction</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Inndoor Climate Model</b>	<b>10</b>
4.1	Inner temperature Modelling . . . . .	10
4.1.1	Modelos . . . . .	11
<b>A</b>	<b>Parameters</b>	<b>15</b>

# Chapter 1

## Introduction

El invernadero en cuestión es se trata de un invernadero comercial que cuenta con un sistema de toma de medidas climáticas. Además la producción de kilos de tomates es contabilizado.

## Chapter 2

# Data Description

Con el fin del modelado del sistema completo del invernadero describiremos las bases de datos disponibles de este. Como veremos tenemos una gran cantidad de información en las variables de clima, mientras que las medidas crecimiento de la plantación se reduce a la producción del fruto. Además procederemos a explicar un pre-procesado preliminar que podemos realizar sin necesidad de tener en cuenta los modelos de clima, ni de crecimientos. Este constará de un eliminación de ruido y una pre selección de variables con información relevante

### 2.1 Available data

El invernadero cosnta de un sistema de captura de datos llamado *sysclima*, enfocado en las variables climáticas, a continuación la describiremos la base de datos capturado por *sysclima*.

**Dataset 2.1.1** (SysClima). *Serie temporal de variables climáticas con una frecuencia de muestreo de aproximadamente 2 minutos. Además de las variables de clima esta base de datos contiene información sobre el estado de la pantalla de sombreo y del porcentaje de apertura de las ventanas, variables que podemos considerar como variables manipulables. Mostramos una descripción detallada de las variables en la tabla 2.2 y una representación gráfica en la Figura 2.1.*

Estos datos en bruto contienen muchas variables que son dependientes debido a que el sistema *sysclima* los computa. Es decir, existen variables como por ejemplo la temperatura de rocío (Troco) que son calculados a partir de una formula utilizada por el sistema. Removeremos este tipo de variables dado que estamos interesados en encontrar las correlaciones entre las medidas independientes. Por otra parte, tambien removeremos variables cuyo valor sea constante, dado que no aporta información relevante. Siguiendo estos pasos obtenemos la siguiente base de datos:

**Dataset 2.1.2** (SysClima Compact). *Serie Temporal copia del Dataset 2.1.1 considernado un menor número de variables. En la Figura 2.2 se puede ver una representación gráfica de sus variables, mientras que en la Tabla*

Aunque esta es una base de datos con una buena resolución, esta contiene ventanas temporales sin datos de longitud aproximada de varias semanas. Aunque para el modelado de la temperatura interior, este nos es un problema; el modelado del crecimiento de la plantación depende fuertemente las condiciones climaticas en ventanas de tiempo del orden de meses. La falta de datos en la base

de datos 2.1.1 nos imposibilita el uso de modelos mecanísticos para la predicción de la producción. Es por ello que hemos recogido los datos meteorológicos de la estación más cercana con registros históricos, que a continuación describiremos.

**Dataset 2.1.3** (Meteorologic Station of Derio - Euskalmet). *Serie temporal de variables climática de la estación meteorológica de Derio, desde 2016 hasta 2020. Utilizaremos esta base de datos de clima con el fin de complementar las regiones sin medidas de la base de datos 2.1.1.*

Esta base de datos contiene información de la temperatura sin grandes ventanas vacías, sin embargo existe una ausencia de datos de radiación en el intervalo XXXX-YYYY.

Por otro lado, como hemos mencionado anteriormente el único registro claro con respecto al crecimiento de la plantación la masa de fruto recogido. Este registro se encuentra en la siguiente base de datos.

**Dataset 2.1.4** (Tomatoes Production). *Serie temporal de masa de tomates producidos con una frecuencia de muestreo aproximada diaria. Estos datos son recogidos manualmente por el personal del invernadero.*

## 2.2 Análisis estadístico de las bases de datos

## 2.3 Conclusion

Name	Units	Description
Time Stamp	-	
Var2	-	Sección de invernadero
Text	$^{\circ}C$	Temperatura exterior
HRExt	%	Humedad relativa Exterior
RadExt	$W/m^2$	Radiación Exterior
Vviento	$km/s$	Wind Velocity
DireccinViento	$^{\circ}$	Dirección del Viento
RadAcumExt	$W/m^2$	Radiación Acumulada diaria Exterior
AlarmaLluvia	-	Alarma de Viento
AlarmaVto	-	Alarma de Lluvia
Tinv	$^{\circ}C$	Temperatura interior
Troco	$^{\circ}C$	Temperatura de Rocío
RadInt	$W/m^2$	Radiación Interior
xDemPant1	%	Demanda de Pantalla de Sombreo
xEstadoPant1	%	Estado de Pantalla de Sombreo
TVentilacin	$^{\circ}C$	Temperatura de Ventilación
EstadoCenitalE	%	Porcentaje de apertura Cenital Este
EstadoCenitalO	%	Porcentaje de apertura Cenital Oeste
EstadoLateralE	%	Porcentaje de apertura Lateral Este
MaxHR	%	Maxima Humedad Relativa
MinHR	%	Mínima Humedad Relativa
DeltaX	$g/m^3$	
DeltaT	$^{\circ}C$	
DPV	$mbar$	Déficit de Presión de Vapor
HRInt	%	Humedad relativa Interior
Ventiladores2Activo		-
AerotermolActivo		-
Sonda1		-
Sonda2		-
Sonda3		-
Sonda5		-
Sonda6		-

Table 2.1: Variables of dataset [2.1.1](#)

Name	Units	Description
Time Stamp	-	
Text	$^{\circ}C$	Temperatura exterior
RadExt	$W/m^2$	Radiación Exterior
Vviento	$km/s$	Wind Velocity
DireccinViento	$^{\circ}$	Dirección del Viento
Tinv	$^{\circ}C$	Temperatura interior
RadInt	$W/m^2$	Radiación Interior
xEstadoPant1	%	Estado de Pantalla de Sombreo
EstadoCenitalE	%	Porcentaje de apertura Cenital Este
EstadoCenitalO	%	Porcentaje de apertura Cenital Oeste
EstadoLateralE	%	Porcentaje de apertura Lateral Este
HRInt	%	Humedad Relativa Interior

Table 2.2: Variables of dataset [2.1.1](#)

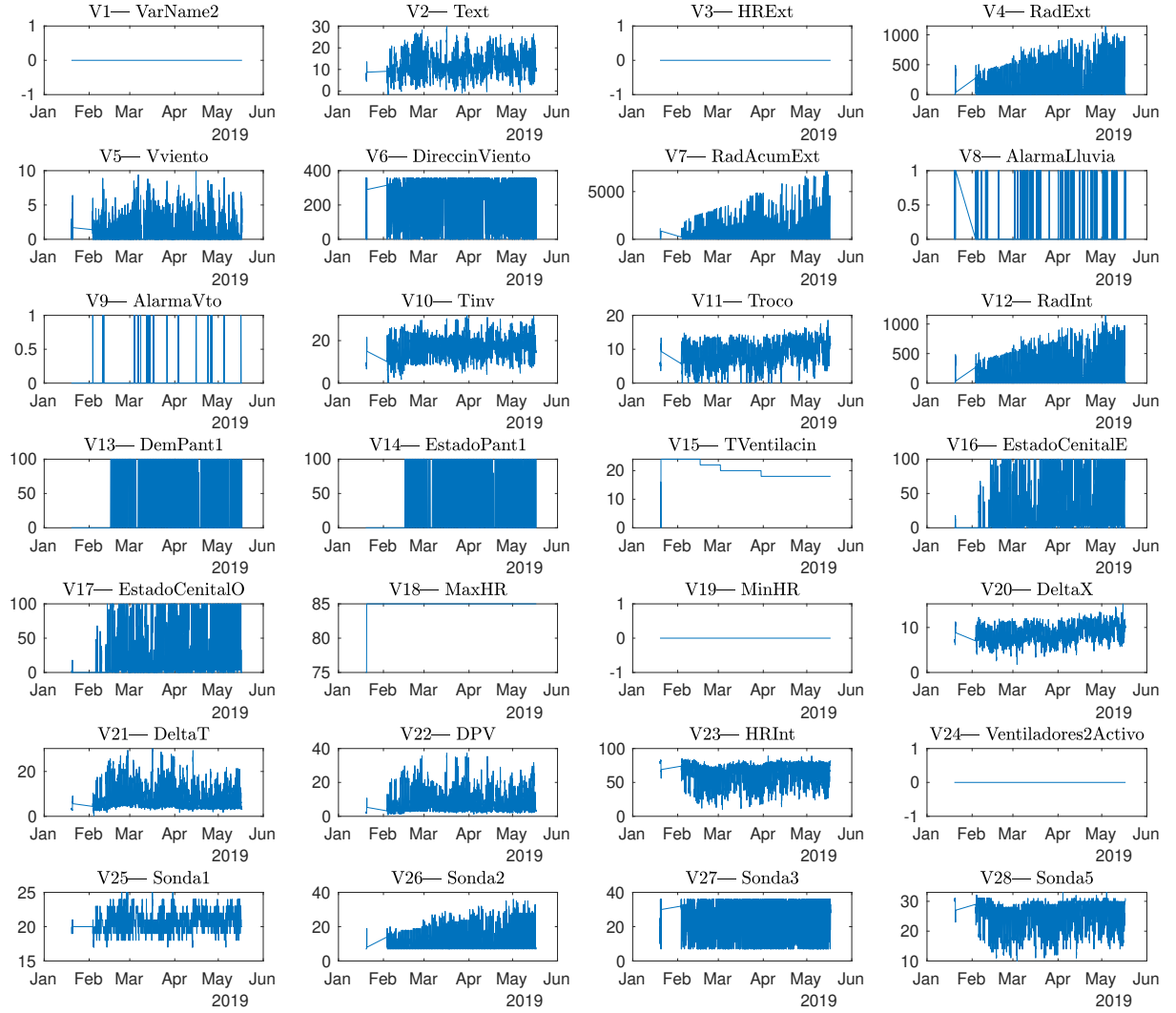


Figure 2.1: Preliminary view of Dataset 2.1.1 from Jan-2019 to Jun-2019



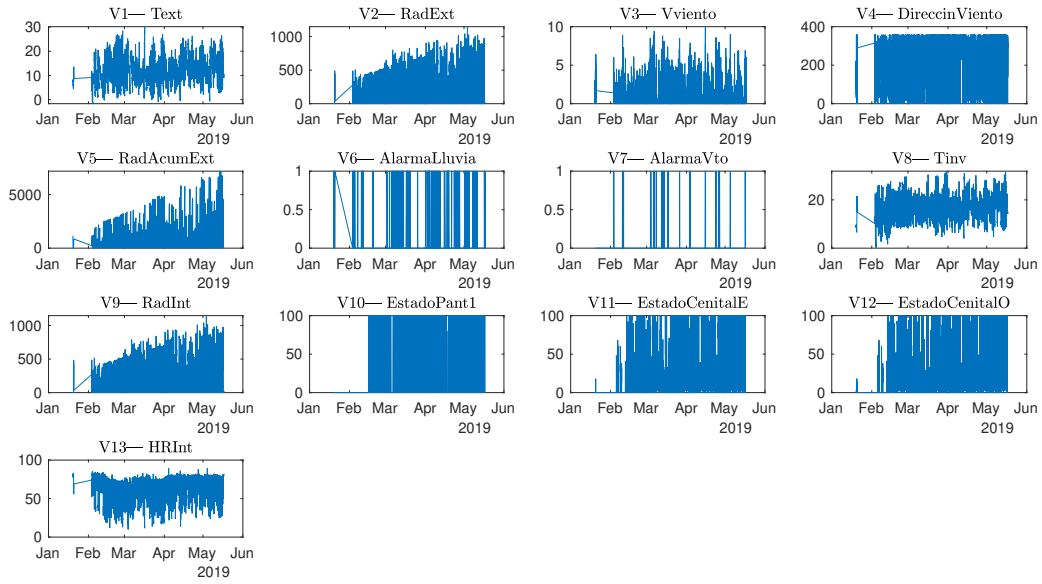


Figure 2.2: Selection of variables

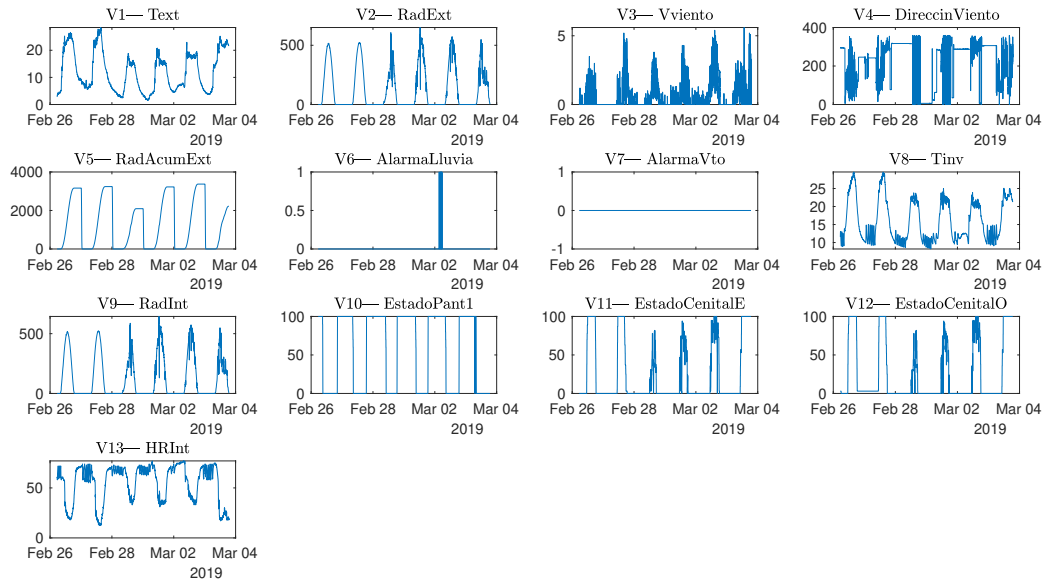


Figure 2.3: Selection of variables - zoom

## Chapter 3

# External Climate Variables prediction

## Chapter 4

# Inndoor Climate Model

### 4.1 Inner temperature Modelling

En esta sección solo consideraremos la temperatura interior  $x_T$  como variable de estado.

$$Q = Q_{ext} + Q_{heater} + Q_{radiation} \quad (4.1)$$

Capacidad calorífica

$$C_d = \lim_{\Delta T \rightarrow \infty} \frac{Q}{\Delta T} \quad (4.2)$$

La transferencia de la temperatura de un medio es un proceso muy conocido estudiado en el siglo XVII. Esta variación de la temperatura puede provenir de tres tipos de fuentes. Estas son mediante convección, conducción y radiación. Las fuentes pueden afectar al estado del sistema mediante:

1. **Heat Sources:** Añadiendo fuentes de energía. Debido a la conservación de la energía.
  - (a) Conduction Sources: Transmisión de calor por contacto sin transferencia de materia.
  - (b) Convection Sources: Transmisión de calor por contacto con transferencia de materia. En nuestro caso el Heater  $u_T$  y la temperatura exterior  $f_T$ .
  - (c) Radiation Sources: Transmisión de calor por ondas electromagnéticas. En nuestro caso la radiación exterior  $f_r$ .
2. **Perturbation:** Alteración en la manera en la que se conduce la temperatura:
  - (a) Conduction Perturbation: Transmisión de calor por contacto sin transferencia de materia.
  - (b) Convection Perturbation:  $u_w$ : Windows.
  - (c) Radiation Perturbation:  $u_r$ : Shade screens

De esta manera, podemos entender la naturaleza de nuestras fuentes controladas y no controladas. Además de ciertas restricciones que deben cumplir la variación de las fuentes. Por ejemplo, la variación de las perturbaciones nunca debe generar energía sino favorecer o mitigar su transmisión.

Por el contrario las fuentes de calor podrían afectar la manera en la que el sistema intercambia temperatura, es decir que la capacidad calorífica de los disitnos elementos pueda depender de la temperatura, sin embargo obviaremos este efecto por simplicidad

#### 4.1.1 Modelos

##### Cooling Newton law with external sources

###### Model 4.1.1: Cooling Newton law with external sources

Consider the following variables:

Type	Dim	Name	Notation	Units
States	$\mathbf{x} \in \mathbb{R}$	Inner Temperature	$x_T$	$K$
Sources	$\mathbf{f} \in \mathbb{R}^2$	Exterior Temperature Exterior Radiation	$f_T$ $f_r$	$K$ $W/m^2$
Controls	$\mathbf{u} \in \mathbb{R}$	Heater	$u_T$	$W$

Given a exterior temperature  $f_T$ , the inner temperature of greenhouse  $x_T$  can be determined by following ordinaly differential equation:

$$\frac{dx_T(t)}{dt} = -\underbrace{c_d[x_T(t) - f_T(t)]}_{\text{Newton law}} + 3.6e3 \left[ \underbrace{\left( \frac{u_T(t)}{c_H} \right)}_{\text{Heater Term}} + \underbrace{\left( \frac{f_r(t)}{c_R} \right)}_{\text{Radiation Term}} \right] \quad (4.3)$$

Parámetros a estimar

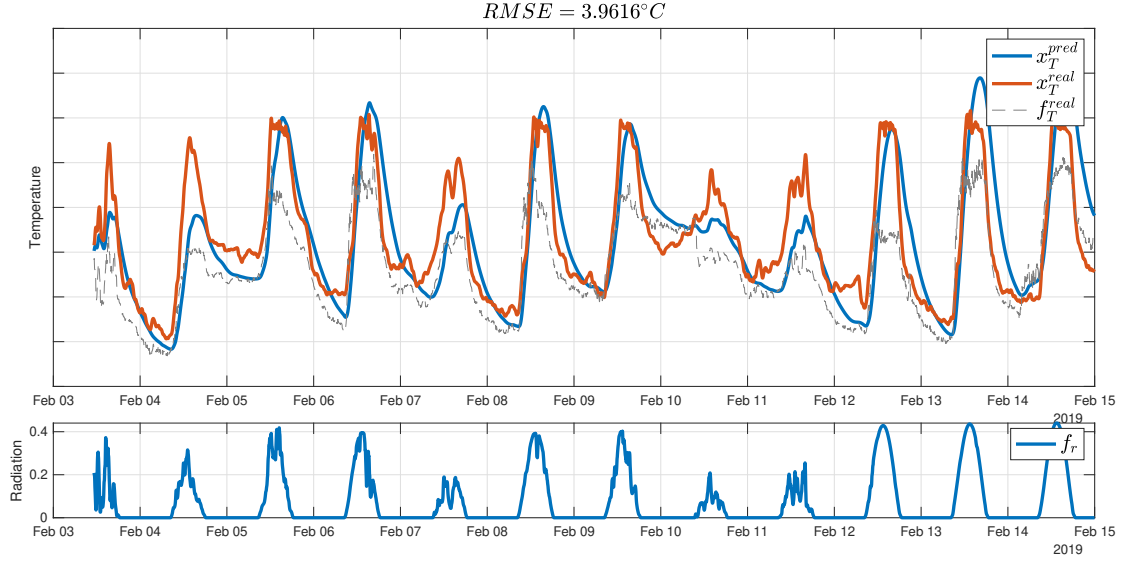
1.  $c_d(h^{-1})$ : Coeficiente de difusión del invernadero.
2.  $c_H(JK^{-1})$ : Capacidad calorífica del invernadero debido a las calderas.
3.  $c_R(JK^{-1}m^{-2})$ : Capacidad calorífica del invernadero por unidad de superficie debido a la radiación.

Ajustamos este modelo con la Trayectoria ???. Suponiendo que esta trayectoria tiene una señal de heater  $u_T(t) = 0$  , podemos simplificar la formula (4.3):

$$\frac{dx_T(t)}{dt} = -c_d[x_T(t) - f_T(t)] + 3.6e3 \left( \frac{f_r(t)}{c_R} \right) \quad (4.4)$$

Entonces para  $t \in \{t_1, t_2, \dots, t_T\}$

$$\frac{dx_T(t)}{dt} = \begin{bmatrix} -(x_T(t) - f_T(t)) & 3.6e3f_r(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_d \\ (1/c_R) \end{bmatrix} \quad (4.5)$$



De manera que tenemos podemos formular una ecuación matricial

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \frac{dx_T}{dt}(t_1) \\ \frac{dx_T}{dt}(t_2) \\ \frac{dx_T}{dt}(t_3) \\ \dots \end{bmatrix}}_{d\mathbf{X}} = \underbrace{\begin{bmatrix} -(x_T(t_1) - f_T(t_1)) & 3.6e3f_r(t_1) \\ -(x_T(t_2) - f_T(t_2)) & 3.6e3f_r(t_2) \\ -(x_T(t_3) - f_T(t_3)) & 3.6e3f_r(t_3) \\ \dots \end{bmatrix}}_G \begin{bmatrix} c_d \\ (1/c_R) \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Entonces

$$\begin{bmatrix} c_d \\ (1/c_R) \end{bmatrix} = \mathbf{G}^{-1}d\mathbf{X} \quad (4.7)$$

Donde  $\mathbf{G}^{-1}$  es la pseudo-inversa de Penrose.

Hemos obtenido  $c_d(h^{-1}) = 0.0054$ ,  $c_R(JK^{-1}m^{-2}) = 1.5519e + 04$ . Obteniendo  $RMSE \approx 4^\circ C$ . Además, suponiendo que el modelo obtenido es capaz de reproducir el comportamiento del invernadero podemos obtener una señal de heater asociada a la Trayectoria ??.

### Newton Law & external sources with variable convection diffusion

Presentamos una manera huerística del efecto de las ventanas en la temperatura interior.

**Model 4.1.2: Newton Law & external sources with variable convection diffusion**

$$\frac{dx_T(t)}{dt} = - \underbrace{c_d(u_w(t))}_{\substack{\text{Windows} \\ \text{dependence}}} [x_T(t) - f_T(t)] + \left[ \frac{3.6 \times 10^3}{c_H} \right] u_T(t) + \left[ \frac{3.6 \times 10^3}{c_R} \right] f_r(t) \quad (4.8)$$

Donde:

$$c_d(u_w) = c_d^{min} + (c_d^{max} - c_d^{min}) \frac{u_w}{100} \quad (4.9)$$

Parámetros a estimar

1.  $c_d^{min}(h^{-1})$ : Coeficiente de difusión del invernadero debido a las calderas con las ventanas cerradas.
2.  $c_d^{max}(h^{-1})$ : Coeficiente de difusión del invernadero debido a las calderas con las ventanas abiertas.
3.  $c_R(JK^{-1}m^{-2})$ : Capacidad calorífica del invernadero por unidad de superficie debido a la radiación.

**Model 4.1.3: Modelo híbrido**

$$\frac{dx_T(t)}{dt} = c_{\omega_d}(\cdot)[x_T(t) - f_T(t)] + c_{\omega_f}(\cdot) \quad (4.10)$$

Donde los parámetros de difusión y el término de fuentes son aproximados por perceptrones multicapa.

$$c_{\omega_d} = c_{\omega_d}(u_w, f_H) \quad (4.11)$$

$$c_{\omega_f} = c_{\omega_f}(u_T, u_r, f_r) \quad (4.12)$$

#### Model 4.1.4: NARX

Consideramos las siguiente variables:

Type	Set	Name	Notation	Units
States	$\mathbf{x} \in \mathbb{R}^3$	Inner Temperature	$x_T$	$K$
		Inner Radiation	$x_r$	$W/m^2$
		Inner Relative Humidity	$x_h$	%
Sources	$\mathbf{f} \in \mathbb{R}^4$	Exterior Temperature	$f_T$	$K$
		Exterior Radiation	$f_r$	$W/m^2$
		Exterior Relative Humidity	$f_h$	%
		Wind Velocity	$f_w$	$Km/h$
Controls	$\mathbf{u} \in \mathbb{R}^3$	Heater	$u_T$	$W$
		Windows	$u_w$	%
		Shade screens	$u_r$	%

Let  $\Delta t$ , we can define a NARX model of order 1:

$$\mathbf{x}(t + \Delta t) = c_{\omega_d} \left[ \mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{f}(t), \mathbf{x}(t - \Delta t), \mathbf{u}(t - \Delta t), \mathbf{f}(t - \Delta t) \right] \quad (4.13)$$

#### Model 4.1.5: ANN

Consideramos las siguiente variables:

Type	Set	Name	Notation	Units
States	$\mathbf{x} \in \mathbb{R}^3$	Inner Temperature	$x_T$	$K$
		Inner Radiation	$x_r$	$W/m^2$
		Inner Relative Humidity	$x_h$	%
Sources	$\mathbf{f} \in \mathbb{R}^4$	Exterior Temperature	$f_T$	$K$
		Exterior Radiation	$f_r$	$W/m^2$
		Exterior Relative Humidity	$f_h$	%
		Wind Velocity	$f_w$	$Km/h$
Controls	$\mathbf{u} \in \mathbb{R}^3$	Heater	$u_T$	$W$
		Windows	$u_w$	%
		Shade screens	$u_r$	%

Let  $\Delta t$ , we can define a NARX model of order 1:

$$\mathbf{x}(t + \Delta t) = c_{\omega_d}(\mathbf{u}(t), \mathbf{f}(t)) \quad (4.14)$$

# Appendix A

## Parameters

Name	Value	Units
$c_1$	2.82	$m^{-2}$
$c_2$	74.66	-

Table A.1: Parámetros tomados de [\[Martínez-Ruiz et al., 2019\]](#)



# Bibliography

[Martínez-Ruiz et al., 2019] Martínez-Ruiz, A., López-Cruz, I. L., Ruiz-García, A., Pineda-Pineda, J., and Prado-Hernández, J. V. (2019). HortSyst: A dynamic model to predict growth, nitrogen uptake, and transpiration of greenhouse tomatoes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(1):89–102.