

Javiera Venegas, Diego Rozas, Paulina Gómez, Salvador Pérez
Alelí Osorio Lird, MSc, PhD

“Evaluación y modelación del desempeño de pavimentos urbanos utilizando machine learning”



Sistemas de Gestión de Pavimentos Urbanos



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE**

SGPUC
 Pavimentos Urbanos
 Pontificia Universidad Católica de Chile
 Escuela de Ingeniería

Encuéntranos también en:




ANTECEDENTES
INFORMAR DAÑOS











FONDEF
 Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico

PROYECTO FONDEF D0911018
 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE SOLUCIONES PARA LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS EN CHILE

Ingreso al Sistema SGPU

Usuario


Clave

ENTRAR

Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos que integra metodologías técnico-económicas y un sistema de información geográfica que incorpora variables espaciales en toma de decisiones de conservación de redes viales urbanas.

SGPU - PUC - 2014 - Google Chrome

146.155.7.146:8080/sgpu/mapa_sim.php?an=7



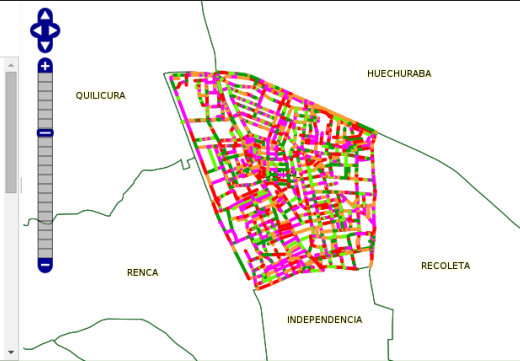
**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE**

Pontificia Universidad Católica de Chile
Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos - SGPU
 Facultad de Ingeniería

Zoom a Comuna:
Dibujo
Buscar por Atributo
Localizar un Punto
Bajar como KML

Temas

- Polígono para Simulación
- Polígono de Selección
- Simulación sgpu_1_Inicio
- Condición Pavimento
 - Muy Bueno
 - Bueno
 - Regular
 - Malo
 - Muy Malo
- Carpeta de Rodado Jerarquía de la Vía
- Simulación sgpu_1_1
 - Condición Pavimento
 - Carpeta de Rodado Jerarquía de la Vía
- Simulación sgpu_1_2
 - Condición Pavimento
 - Carpeta de Rodado Jerarquía de la Vía
- Simulación sgpu_1_3
 - Condición Pavimento
 - Carpeta de Rodado Jerarquía de la Vía



SGPU - PUC - 2014
Lat, Lon: -33.393, -70.728 UTM: 339306.3, 6303794.2 H19
1:54168

(PUC, 2015)

Índice de Condición de Pavimentos Urbanos

$$\text{Asfalto UPCI}_{\text{MANUAL}} = 10 - 0,038 \text{ FC} - 0,049 \text{ TRC} - 0,046 \text{ DP} - 0,059 \text{ R} - 0,237 \text{ P}$$

$$R^2 = 0,81$$

$$F = 27,95 > F_{\text{crit}} = 2,51$$

$$\text{Asfalto UPCI}_{\text{AUTO}} = 10 - 0,031 \text{ FC} - 0,040 \text{ TRC} - 0,028 \text{ DP} - 0,082 \text{ R} - 0,143 \text{ IRI}$$

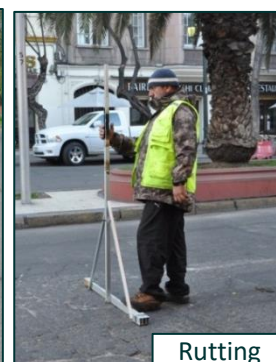
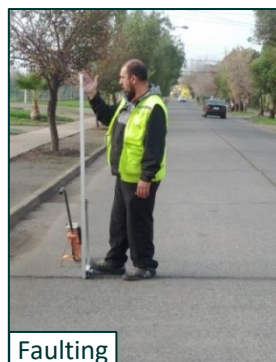
$$R^2 = 0,94$$

$$F = 94,53 > F_{\text{crit}} = 2,53$$

$$\text{Hormigón UPCI}_{\text{MANUAL}} = 10 - 0,042 \text{ LC} - 0,025 \text{ TC} - 0,063 \text{ DP} - 0,263 \text{ F} - 0,038 \text{ COB} - 0,018 \text{ JD}$$

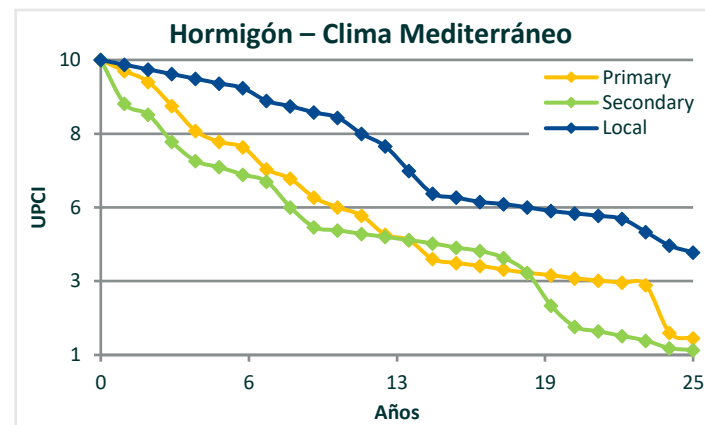
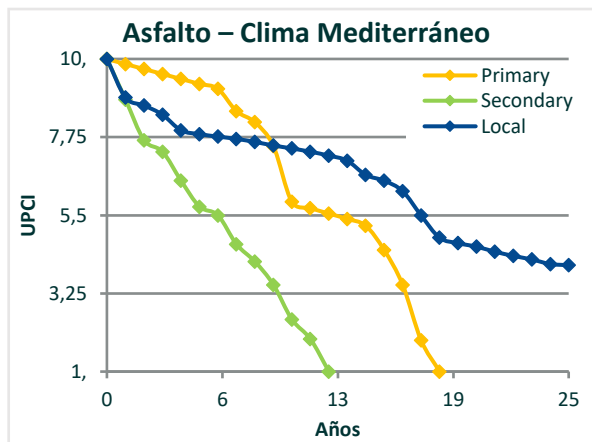
$$R^2 = 0,81$$

$$F = 39,48 > F_{\text{crit}} = 2,27$$



(Osorio et al, 2014)

Modelos de desempeño según jerarquías



(Osorio et al, 2018)

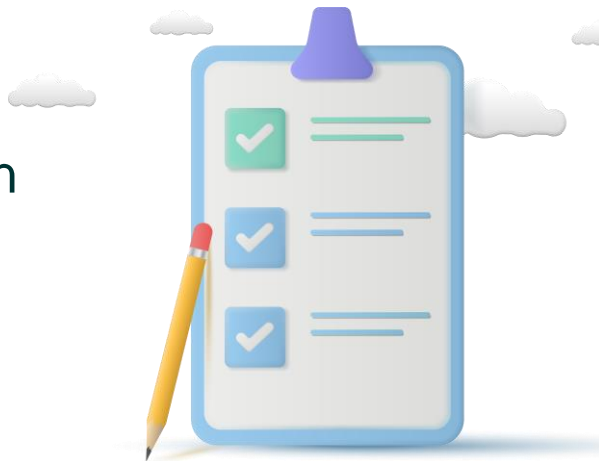
Gestión de Pavimentos urbanos



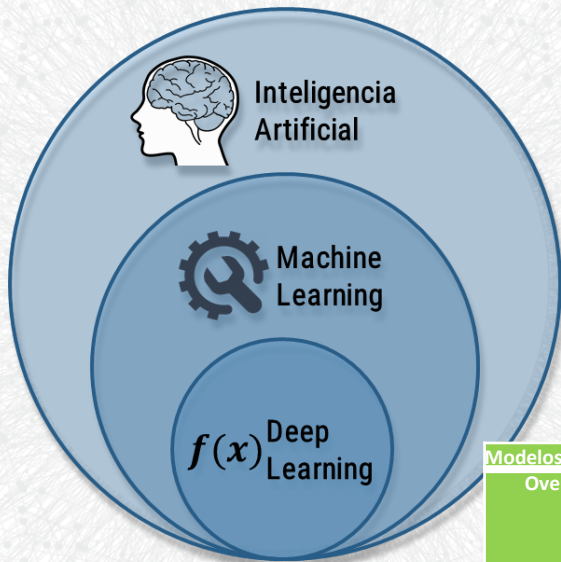
(PUC, 2015)

Desafíos de implementación en ambiente urbano

- Recursos insuficientes para monitoreo de la condición
- Evaluación subjetiva
- Baja capacidad técnica para la gestión



- Evaluación de bajo costo
- Precisión para gestión a nivel de red
- Automática



Prediction	Classification	Clustering
Linear Regression (LR), Nonlinear Regression (NLR)	Logistic Regression-LR	K means
Support Vector Regression (SVR)	Support Vector Machine (SVM) Least Squares Vector Machines (LS-SVM)	Affinity Propagation
K Nearest Neighbor Regressor (KNNR)	K Nearest Neighbor Classifier-(KNNC)	Spectral Clustering
Decision Tree Regressor (DT-R)	Decision Tree Classifier (DT-C)	Agglomerative clustering

Random Forest (RF)	Evaluación de Condición	Tool/Algorithm
Naive Bayes for Regression (NB-R)	Overall condition indexes of different types of pavements	Regressions ANN HIBRID GP SVR ANN
Genetic Programming (GP)		ANN
Gradient Boosting Machine (GBM)		Regressions GP
Artificial Neural Network (ANN), Convolutional Network (CNN), Recurrent Neural Network (RNN), Short Time Memory (LSTM), Radial Basis Function Network (RBFNN)		Regressions, ANN Gradient Boosting Machine SVR, SVM, ANN CrackNet

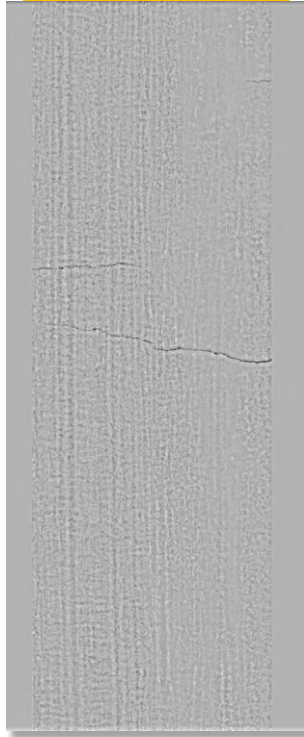
Modelos de Desempeño	Tool/Algorithm
Overall condition indexes	ANN GP DT HYBRID
IRI	ANN SVM GP RF DT Regression HYBRID RBF LSTM-BPNN RNN
Cracking	ANN DT HYBRID

Evaluación de Condición	Tool/Algorithm
Overall condition indexes of different types of pavements	Regressions ANN HIBRID GP SVR ANN
Evaluation of roughness in terms of International Roughness Index (IRI)	ANN
Evaluation of frictions	Regressions GP
Evaluation of rutting	Regressions, ANN
Evaluation of cracking	Gradient Boosting Machine SVR, SVM, ANN CrackNet
Analysis of Ground Penetration Radar evaluations	MLP, CNN, RNN-LSTM SVR SVM
Evaluation of surface distresses	SVM CNN ANN,SVM,RF NBC,DT,ANN,RBFNN,SVM,LSSVM HIBRIDOS Adaptative TD RF Faster R-CNN

Detección Automática de Deterioros

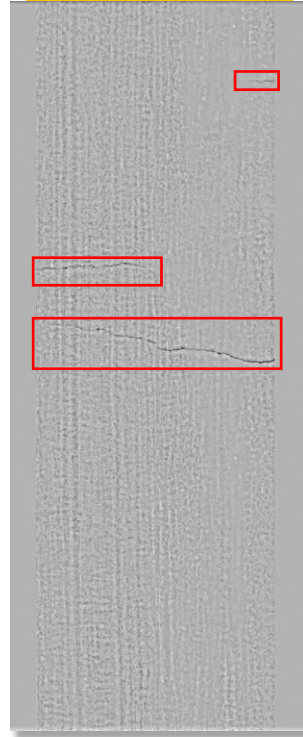
(Estudios preliminares)

Imagen 3D



(APSA, 2018)

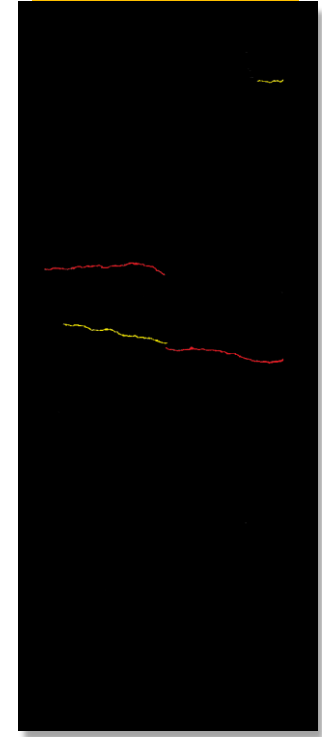
Detección de Objetos



Segmentación Binaria



Segmentación multiclase

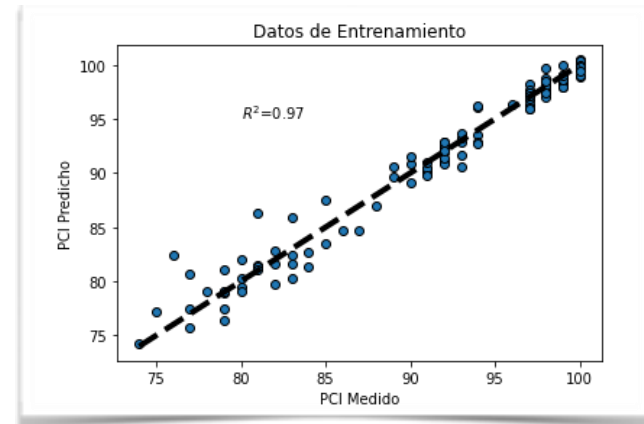
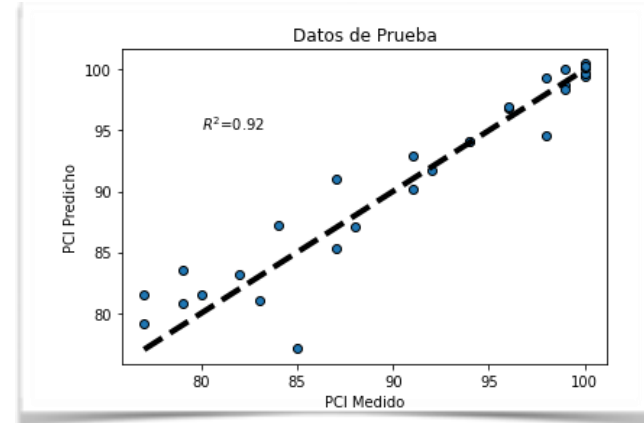
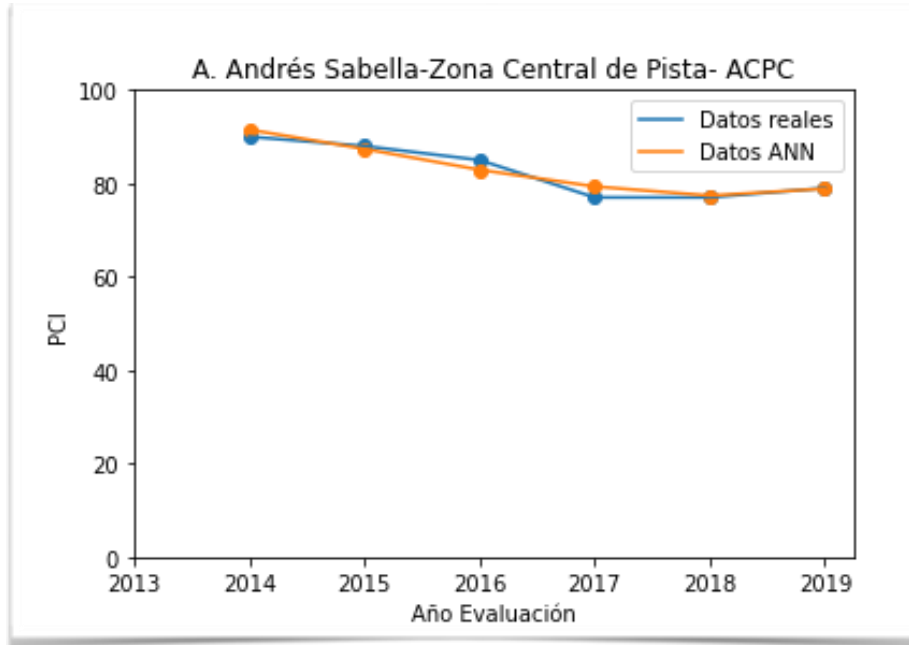


(Contreras, 2020)

Modelos de Deterioro con Machine Learning

(Estudios preliminares)

- Redes neuronales artificiales (ANN)
- Bosques aleatorios (Random Forest Regression)
- Árboles de decisión
- Vector Support Regression



(Montecinos, 2022)

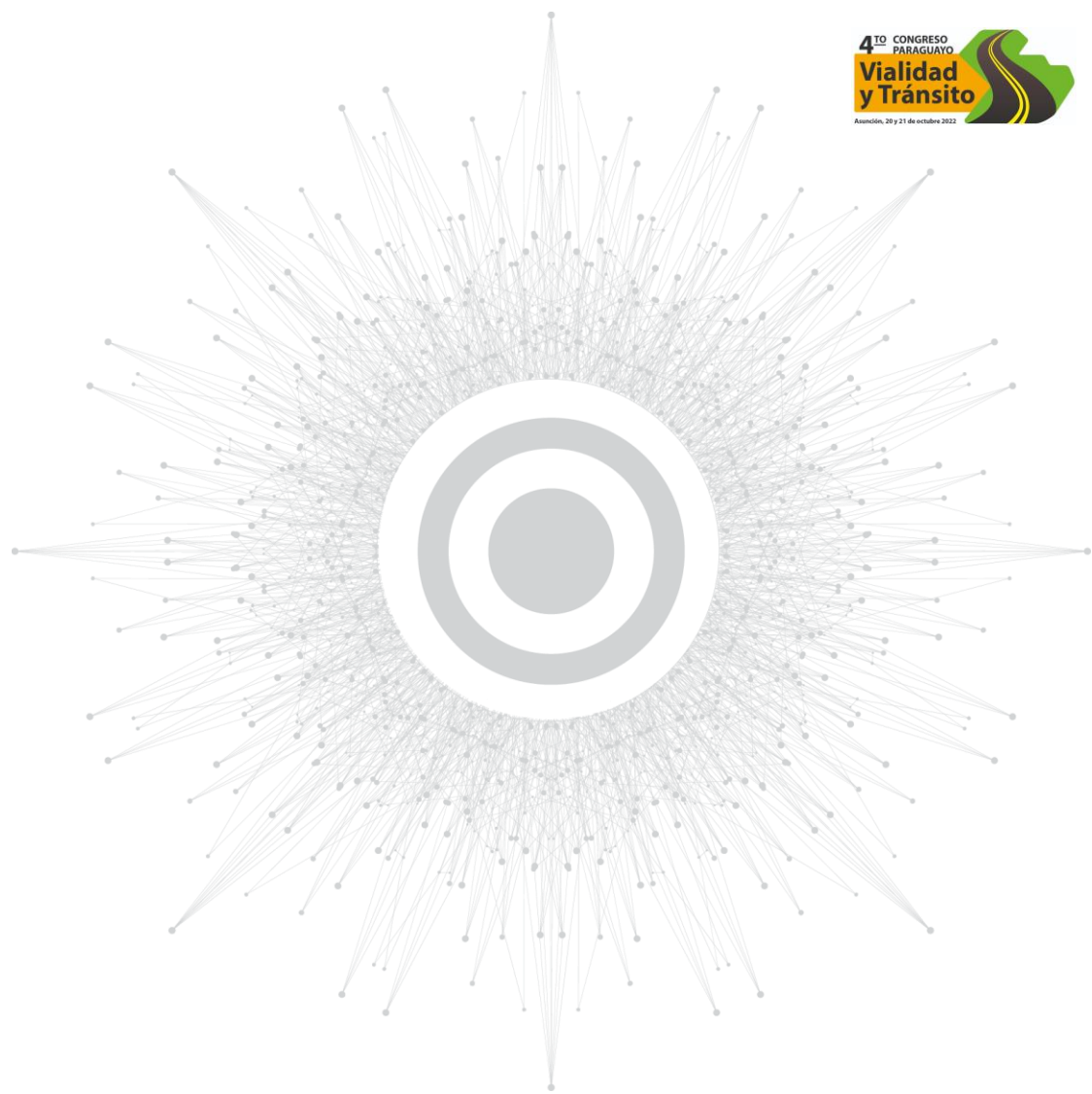
Proyecto Fondecyt 11201150

“Evaluación y modelación del desempeño de pavimentos urbanos utilizando machine learning”



Objetivo General

Mejorar la **eficiencia de la evaluación** y la **precisión de los modelos de desempeño** para la condición de pavimentos urbanos, utilizando **equipos de bajo costo** para recolectar los datos en terreno y herramientas de **machine learning** para procesar y analizar esos datos.



Etapas



1

**SISTEMA DE CÁMARAS
DE BAJO COSTO**



2

**DETECCIÓN
AUTOMÁTICA DE
DETERIOROS CON
MACHINE LEARNING**



3

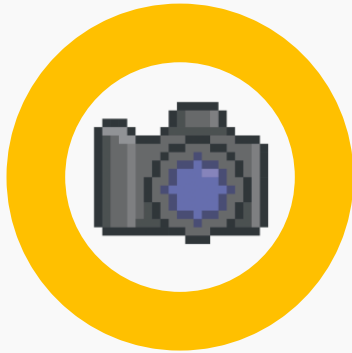
**MODELOS DE
DESEMPEÑO CON
MACHINE LEARNING**



Sistema de cámaras de bajo costo para la evaluación de pavimentos urbanos



Sistema de cámaras de bajo costo para la evaluación de pavimentos urbanos



CÁMARA

- Resolución y Modo de captura
- Campo de visión
- Otras características



MONTAJE

- Estabilidad
- Adaptabilidad
- Otras características



ILUMINACIÓN

- Eliminación sombras
- Horarios de grabación
- Otras características

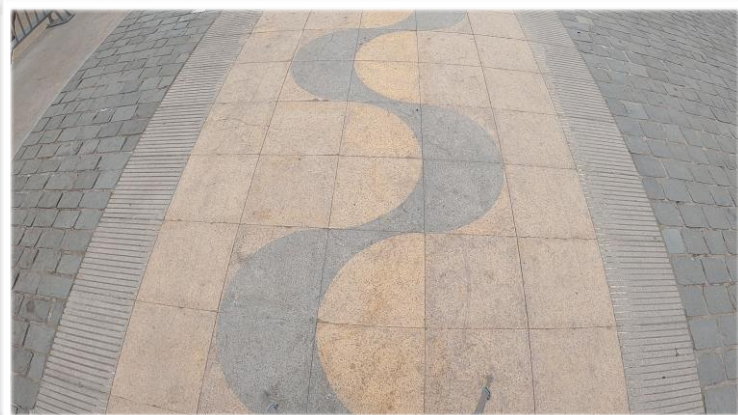


Cámara

- Modelo: GoPro Hero 8 Black
- Modo de captura: video
- Resolución: 1080p
- Lente: Lineal



Gran Angular



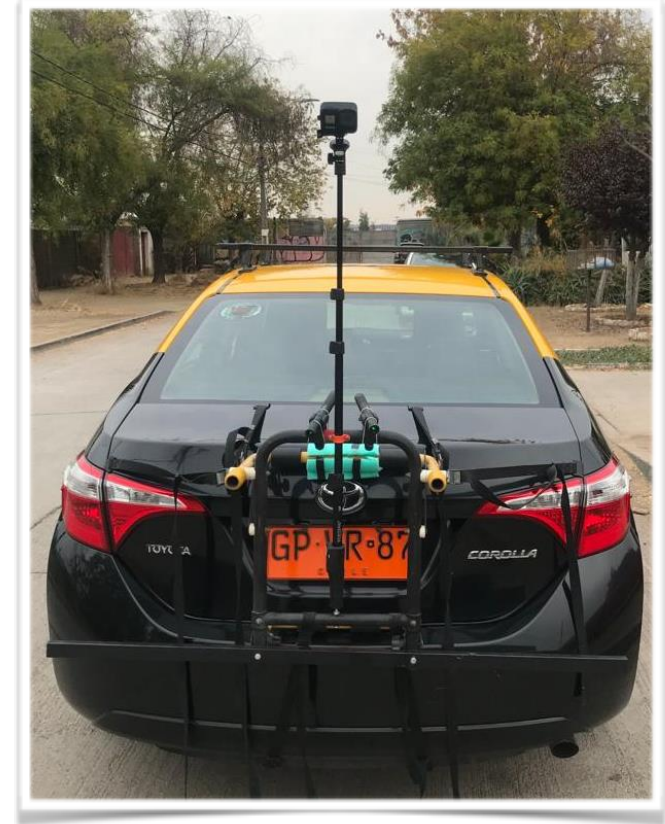
Lineal





Montaje y metodología de grabación

- Sistema de adquisición de imágenes
 - Altura: 1,75 metros.
 - EIS: “Potencia” .
 - Inclinación: 54 .
- Instructivo para montaje y uso:
- Instrucciones conducción.
- Velocidad de tránsito: 20km/h.



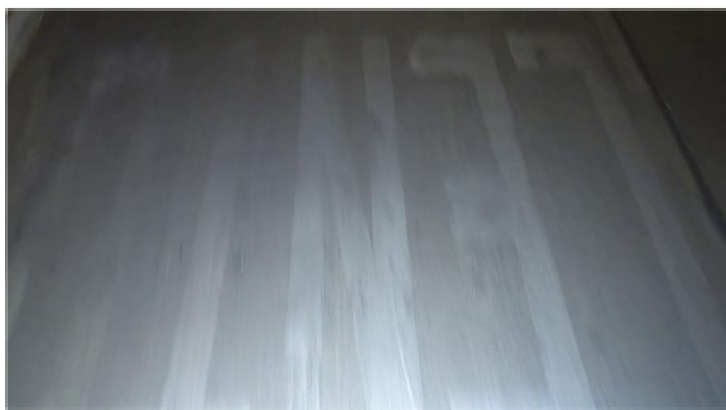


Montaje





Iluminación

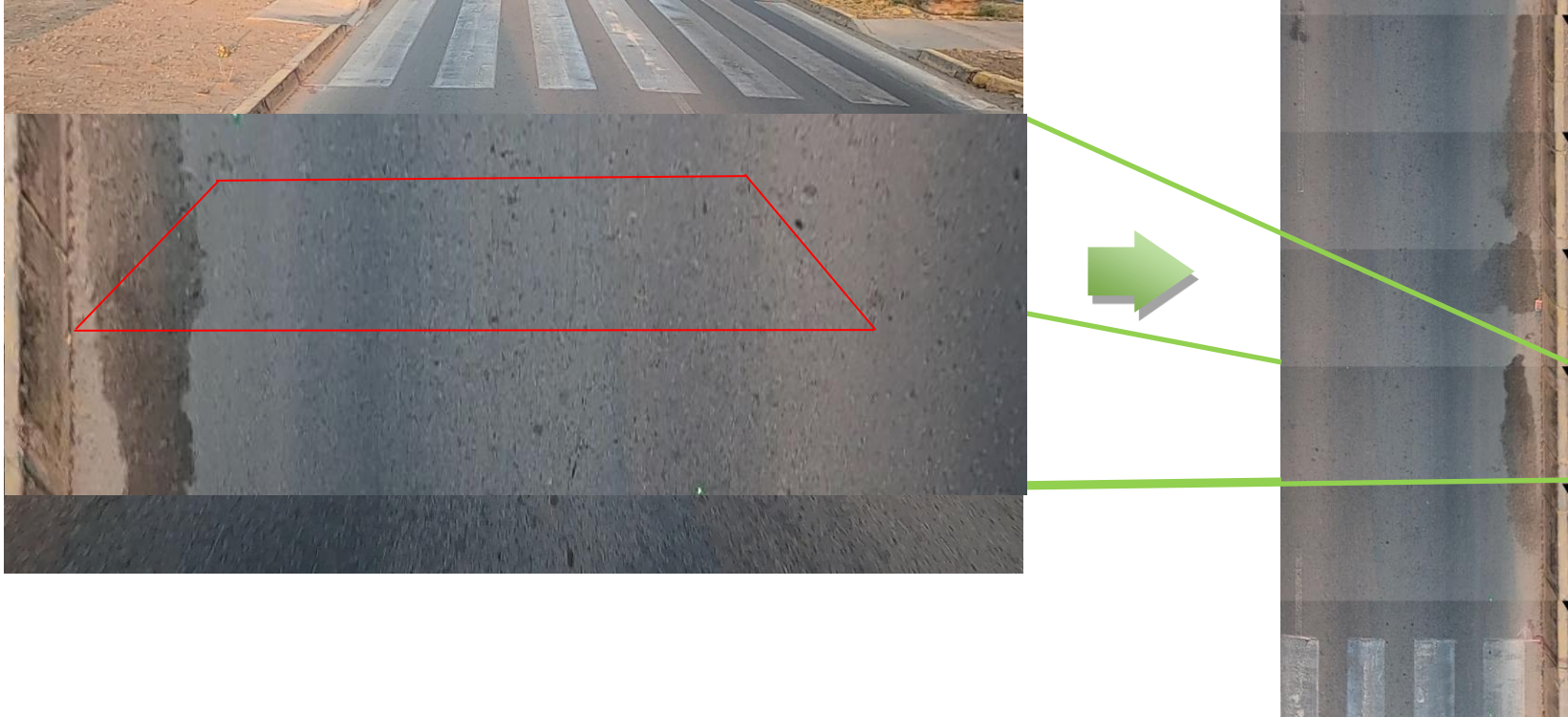




Procesamiento & recolección de imágenes



Transformación



Validación. Fase 1

Categoría	Cantidad	Dimensión		Error
		Digital	Manual	
Grieta transversal	30	61,78 [m]	62,19 [m]	0,65%
Grieta longitudinal	20	47,52 [m]	47,95 [m]	0,88%
Grieta fatiga	12	151,71 [m ²]	151,81 [m ²]	0,07%
Bache	5	1,62 [m ²]	1,49 [m ²]	8,50%

Validación. Fase 2

- Evaluación manual en terreno Vs manual en gabinete
- Pavimentos asfálticos (0,1 a 10,5%)
 - Agrietamiento por fatiga
 - Agrietamiento transversal y agrietamiento reflexión
 - Baches
 - Parches deteriorados
 - Agrietamiento de esquina
- Pavimentos de hormigón (0,9 a 11%)
 - Agrietamiento por fatiga
 - Agrietamiento transversal y agrietamiento reflexión
 - Baches
 - Parches deteriorados
 - Agrietamiento de esquina



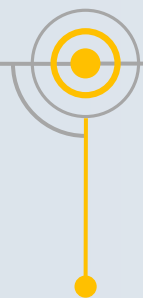


Detección automática de deterioros mediante Deep Learning



Evolución de Aplicaciones de IA en Detección Automática

2012



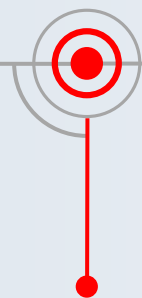
L, Berrio, 2012
Red Propia

M, Jenkins et al., 2017
U-Net



2017

2018



T, Carr, 2018
RetinaNET

J, Tin et al., 2019
VGG16



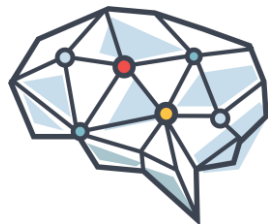
2019

2020

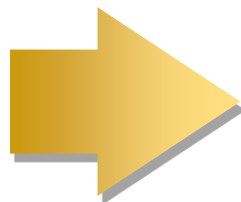


T, Tran et al., 2020
Mask RCNN

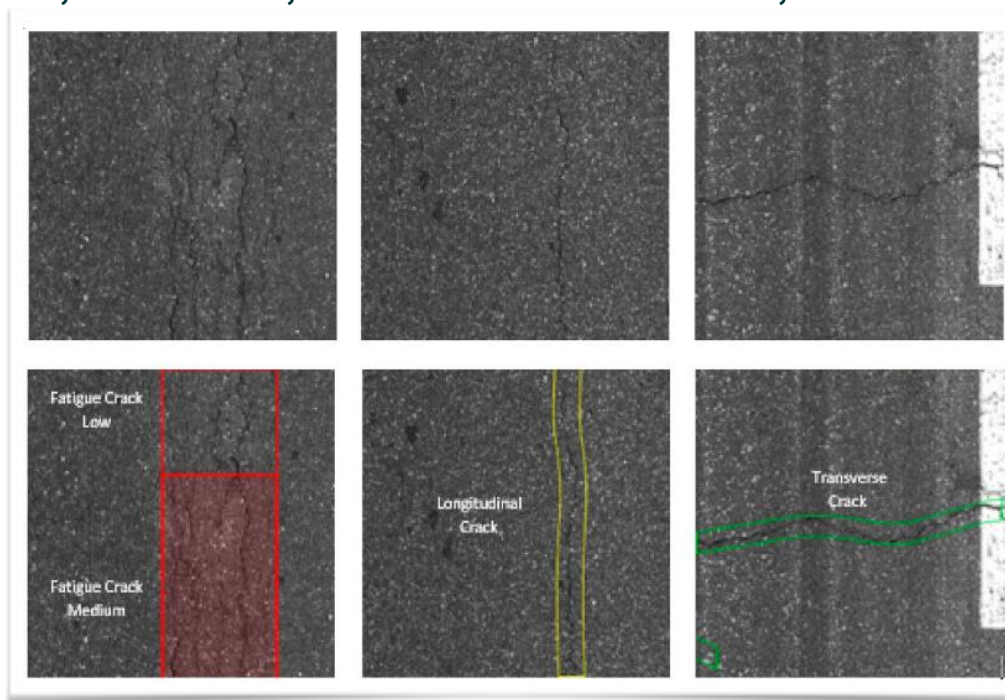
Selección de Algoritmos de Arquitecturas de redes neuronales



- VGG-16
- R-CNN
- U-Net
- Mask RCNN



T, Tran et al., 2020 → Precisión: 96,32%



Deterioros a clasificar

Pavimentos Asfálticos

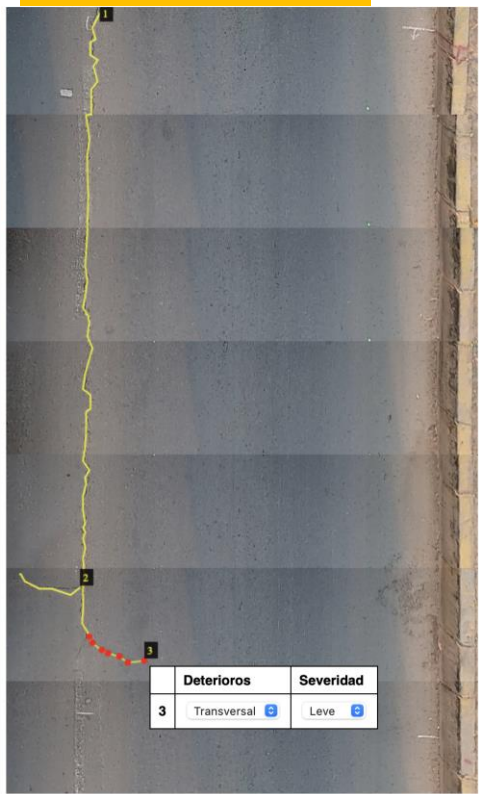
- Agrietamiento de fatiga
- Grietas longitudinales
- Grietas transversales
- Baches
- Parches deteriorados

Pavimentos de Hormigón

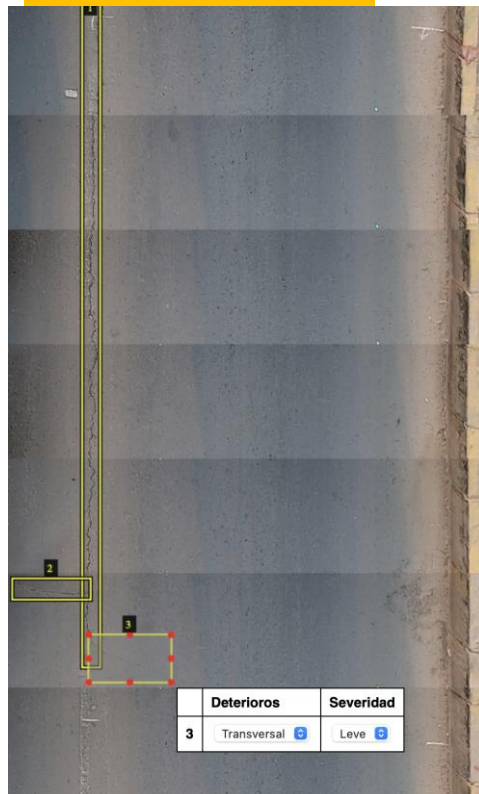
- Agrietamiento transversal
- Agrietamiento longitudinal
- Agrietamiento de esquina
- Deterioros en sello de juntas
- Parches deteriorados

Etiquetado de deterioros

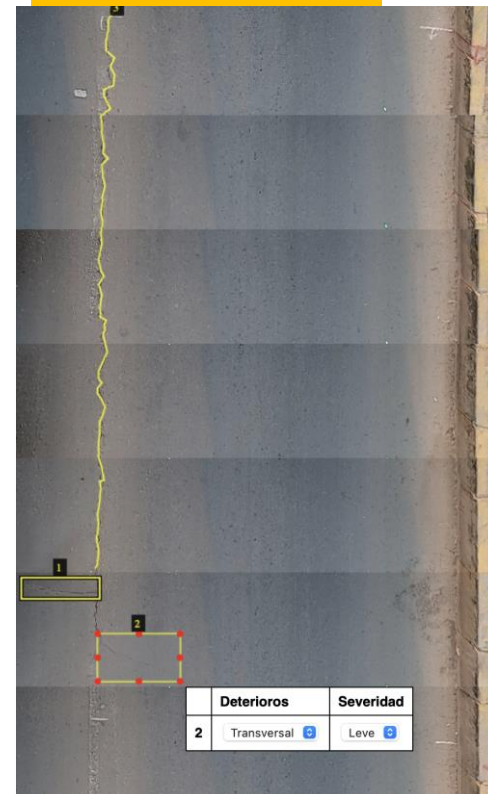
Segmentación



Clasificación



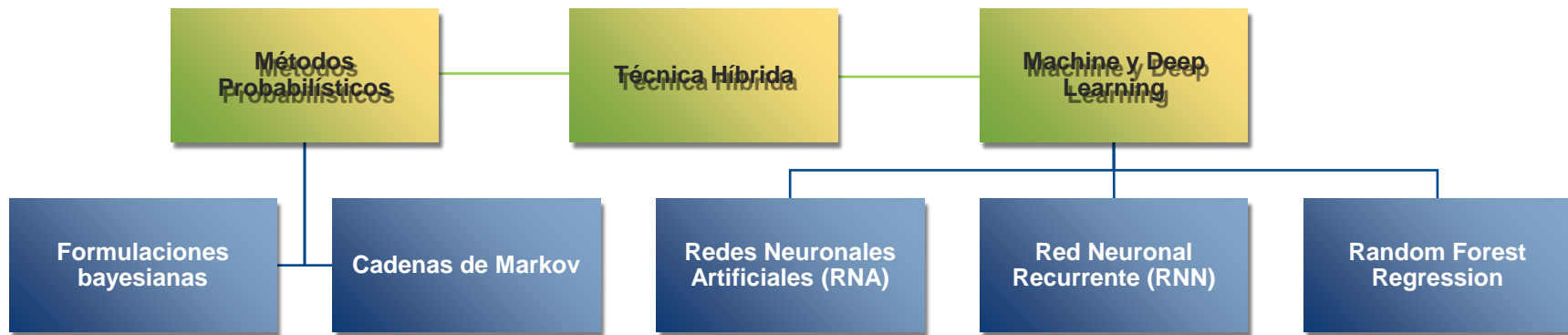
Ambos



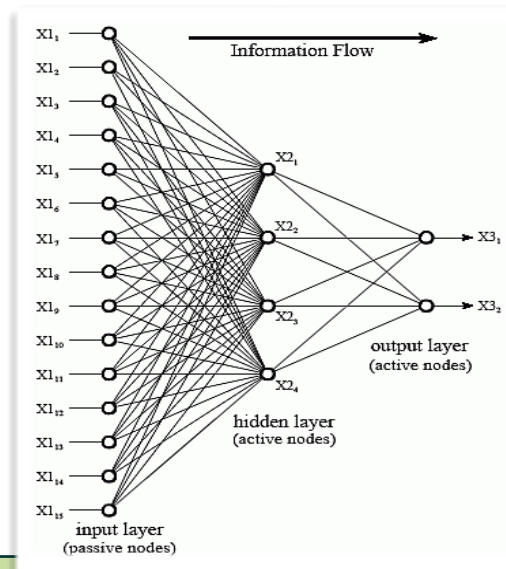
Modelos de desempeño de pavimentos urbanos con Inteligencia Artificial



¿Cómo confeccionar Modelos de Desempeño?



- Redes neuronales artificiales (ANN)
- Bosques aleatorios (Random Forest Regression)
- Redes neuronales recurrentes (RNN)



Definición de Escenarios de modelación

- **¿Qué variables son las que mejor explican el progreso del deterioro?**
 - Parámetros Estructurales (NE, Espesores)
 - Parámetros de Tráfico (Volumen y cargas)
 - Clasificación Funcional de la Vía (Primaria, Secundaria, Local)
 - Condición del Pavimento en época previa
 - Características de Drenaje



Conclusiones



SISTEMA DE CÁMARAS DE BAJO COSTO

- Montaje adaptable
- Costo asequible
- Capaz capturar deterioros
- Validación evidencia diferencias menores.



DETECCIÓN DE DETERIOROS MEDIANTE I.A.

- Recopilación imágenes.
- Etiquetado.
- Pruebas algoritmos.



MODELOS DE DESEMPEÑO

- Definición escenarios de modelación.
- Evaluación de precisión de algoritmos de I.A.

Muchas Gracias!

Alelí Osorio Lird
Profesora Asistente

aleli.osorio@usm.cl



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

