

# **Modelo de comportamiento de conductores y la generación de accidentes de tránsito**

**Disertación Doctoral**

**Presentado por: Wilson Arias Rojas**

**Director  
Jorge Eliécer Córdoba Maquilón PhD**



**2021**

# Agenda

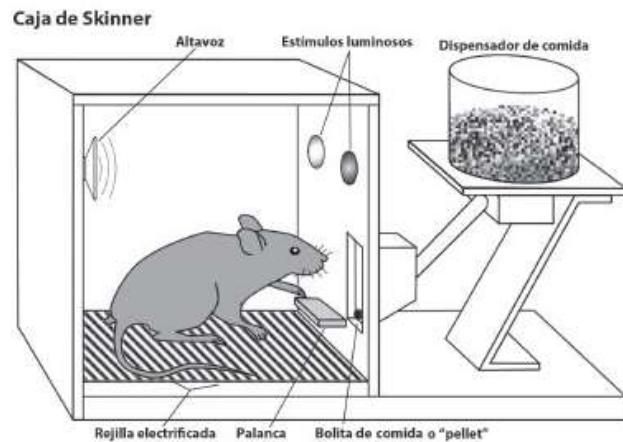


- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción  
de los modelos
- 5 Conclusiones
- 6 Productos

# 1. Introducción

- Comportamiento de agentes o individuos
- Comportamiento de conductores
- Tipos de modelos de comportamiento
- Modelos de comportamiento de conductores
- Investigación previa sobre el comportamiento de conductores y su impacto en generación de accidentes

# Comportamiento de agentes o individuos



Comportamiento – B.F. Skinner Conductismo



Agentes económicos en una economía o mercado



Modelo de comportamiento para un individuo o agente

# Comportamiento de conductores



Conducción real



Conducción en un simulador



Modelo de Comportamiento de un Conductor

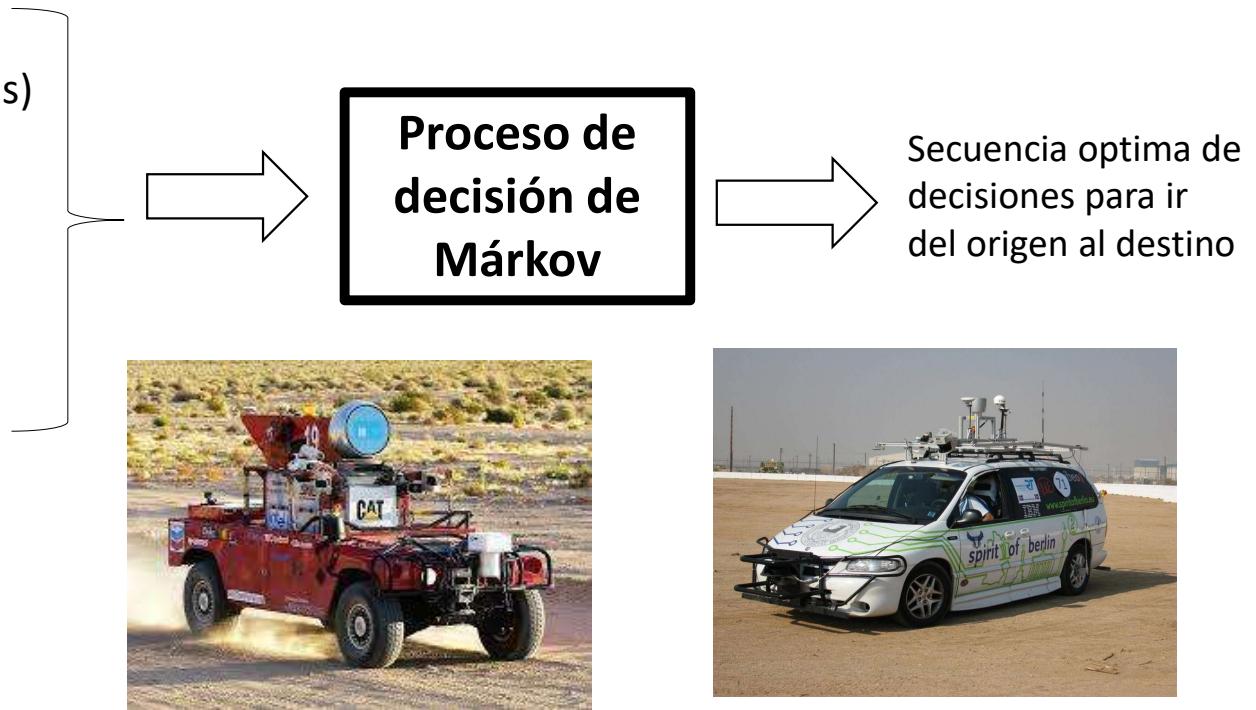
# **Tipos de modelos de comportamiento**

- Modelos descriptivos
- **Funciones de respuesta**
- **Modelos estadísticos**
- Modelos dinámicos (de programación dinámica)
  - Cadenas de Márkov
  - Procesos de decisión de Márkov
  - Modelos de programación dinámica
  - Modelos de programación dinámica estocástica

# Modelos de comportamiento de conductores según su aplicación

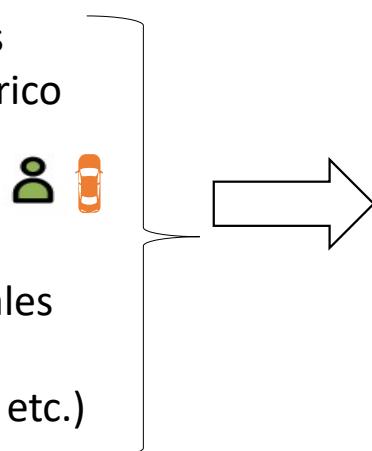
## Proceso de conducción humana – vehículos que se auto conducen

- Origen – destino - ruta
- Percepción (secuencia de observaciones)
  - Vías
  - Otros vehículos
  - Peatones
  - Obstáculos
  - Señales y semáforos
- Sistemas de monitoreo y alerta

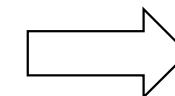


# Modelos Actuariales – cálculo de riegos/primas de seguros

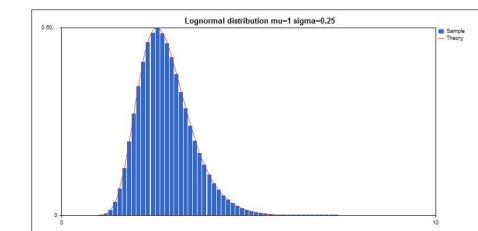
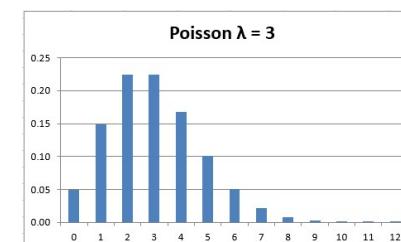
- Variables demográficas
- Comportamiento histórico
  - Infracciones
  - Accidentes
  - Reclamaciones
- Estadísticas poblacionales
- Registros (cámaras, sensores, cajas negras, etc.)



**Modelos estadísticos**



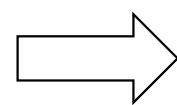
Riesgo de que un conductor/vehículo tenga n siniestros con valores de reclamación Vi



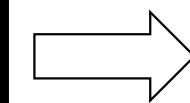
Incidentes  
Accidentes

# Seguridad vial – reducción de la accidentalidad

- Diseño de vías
- Sistema de señalización
- Sistemas legales
- Sistema de vigilancia
- Sistemas de atención de emergencias
- Capacitación de conductores
- Evaluación periódica de conductores
- Sistemas de monitoreo y alerta
- Comportamiento histórico
  - Infracciones
  - Accidentes
  - reclamaciones



**Modelos  
estadísticos**



Ajustes al sistema  
para reducir la  
accidentalidad

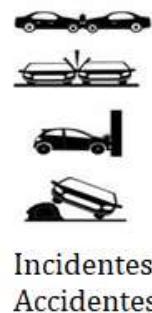


Poblacionales



# Ingeniería Forense – causa/causas probables de un incidente/accidente

- Información del sitio
  - Vías – estado - patologías
  - Señales y semáforos - estado
  - Desperfectos
  - Peatones
  - Obstáculos
- Información de los vehículos
  - Estado - daños
  - Funcionamiento sistemas
  - Registros (cámaras, sensores, cajas negras, etc.)
- Información conductores
  - Estado
  - Licencia
  - Historia
  - Registros (cámaras, testigos, sensores, etc.)



Funciones de respuesta



Causa/causas y responsables probables de un incidente / accidente y/o una reclamación.



# **Investigación previa sobre el comportamiento de conductores y su impacto en generación de accidentes**

## **Estudios del comportamiento de conductores usando simuladores**

- Ben Bassat y Shinar 2011, Israel , Effect of shoulder width, guardrail and roadway geometry on driver perception and behavior
- Bella 2014, Italia, Effects of Combined Curves on Driver's Speed Behavior: Driving Simulator Study
- Papantoniou 2015, Grecia, Risk factors, driver behaviour and accident probability. The case of distracted driving
- Okamoto y Tsiotras 2019, USA, Data-driven human driver lateral control models for developing haptic-shared control advanced driver assist systems, Robotics and Autonomous Systems

## **Estudios del impacto del uso de celulares en la generación de accidentes**

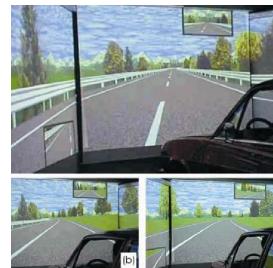
- Jiang et al. 2016 USA, Mapping the nomological network of employee self-determined safety motivation
- Musicant et al. 2015 Israel, Do we really need to use our smartphones while driving?
- Oviedo et al. 2019, Australia, Can our phones keep us safe? A content analysis of smartphone applications to prevent mobile phone distracted driving.



**2008**

**Patel et al. (UK)**

Características cualitativas  
distracciones del conductor



**2011**

**Ben Bassat y  
Shinar (Israel)**

Simulador, percepción de  
conductores



**2012**

**Wåhlberg (UK)**

Cambios de comportamiento



**2014**

**Norza et al.  
(Colombia)**

Factor humano y  
Accidentalidad en  
Colombia

**2013**

**Hassan y Abdel-Aty  
(USA)**

Percepción de conductores  
entre 16-17 años y 18 -24  
años.

**2012**

**Iversen y Rundmo  
(Noruega)**

Cambios de actitud de  
conductores. Encuestas



**2014**

**Warner y Aberg  
(Suecia)**

Comportamiento  
inusuales al  
conducir



**2014**

**Bella (Italia)**

Simulación y  
percepción



**2015**

**Zamith et al.  
(USA)**

Simulacro de  
predicción de  
comportamiento



**2015 Roman et al. (UK)**

Cambios en el  
comportamiento de  
conducción

**2015**

**Musicant et al.  
(Israel)**

Monitoreo de  
comportamiento  
por teléfonos  
inteligentes

**2015**

**Ellison et al.  
(Australia)**

Perfiles de  
comportamiento  
Seguridad vial

**2015**

**Papantoniou  
(Grecia)**

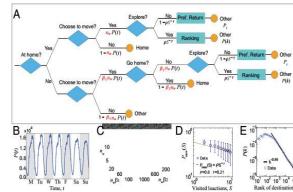
Comportamiento y  
probabilidad de  
accidentes



**2016**

Jiang et al.  
(USA)

Big data, Waze



**2016**

Jiang et al. (USA)

Time Geo



**2016**

Alonso (España)

Simulacro de  
predicción de  
comportamiento



**2020** Kummetha et al.  
(USA)

Procesos fisiológicos (cambios  
biológicos dentro del cuerpo), y  
físicos (en el motor)

**2019** Oviedo et al.  
(Australia)

Uso de celulares y el riesgo  
de accidentes por el cambio  
del comportamiento

**2019**

Okamoto y  
Tsotras (USA)

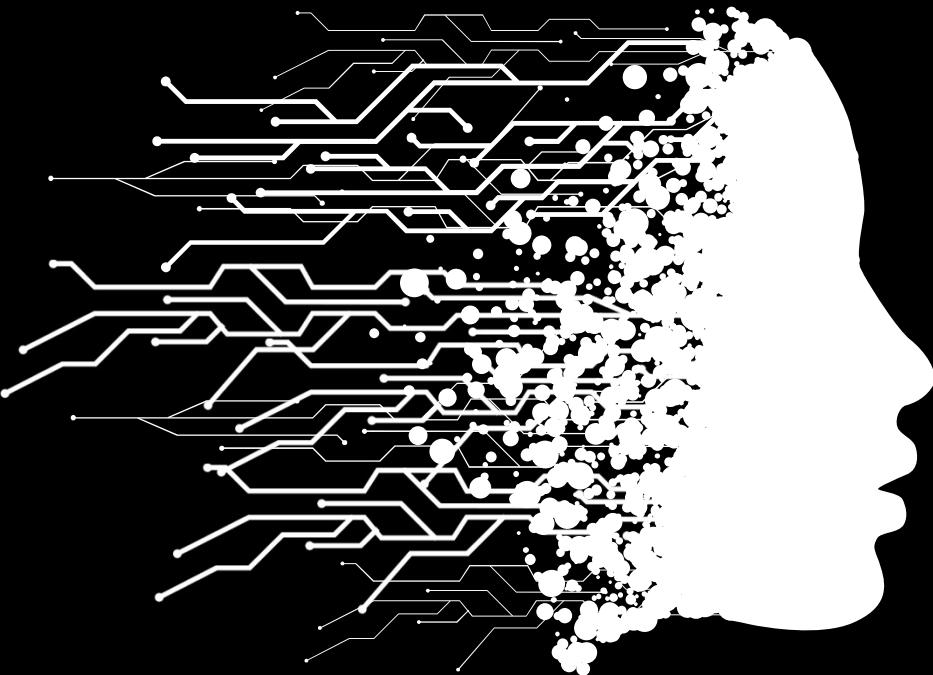
Sistemas de asistencia al  
conductor

**2019**

Markkula et al.  
(USA)

¿Por qué una comprensión  
neurocognitiva del ser  
humano?

# Agenda



- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción  
de los modelos
- 5 Conclusiones y trabajo  
futuro
- 6 Productos

## **2. Objetivos**

- Pregunta de Investigación
- Objetivo general
- Objetivos específicos

## **Pregunta de investigación**

¿Cómo analizar el comportamiento de conductores para determinar modelos de conductas riesgosas que causan accidentes de tránsito, utilizando datos obtenidos con el uso de un simulador de conducción?

## **Objetivo general**

Desarrollar un modelo del comportamiento de conductores que presentan conductas riesgosas que conllevan a la generación de accidentes de tránsito.

## **Objetivos específicos**

- 1** | Caracterizar y clasificar las conductas riesgosas de los conductores para identificar tendencias de comportamiento ante situaciones que puedan generar un accidente de tránsito
- 2** | Realizar mediciones en situaciones simuladas, de manera que se pueda analizar el comportamiento de los conductores ante la percepción del riesgo de un accidente de tránsito.
- 3** | Analizar y evaluar la conducta riesgosa de conductores a partir de información obtenida en situaciones simuladas, para la generación de un modelo de comportamiento que permita prevenir accidentes de tránsito.
- 4** | Proponer un modelo que se ajuste a las condiciones y comportamiento de conductores.

# Agenda

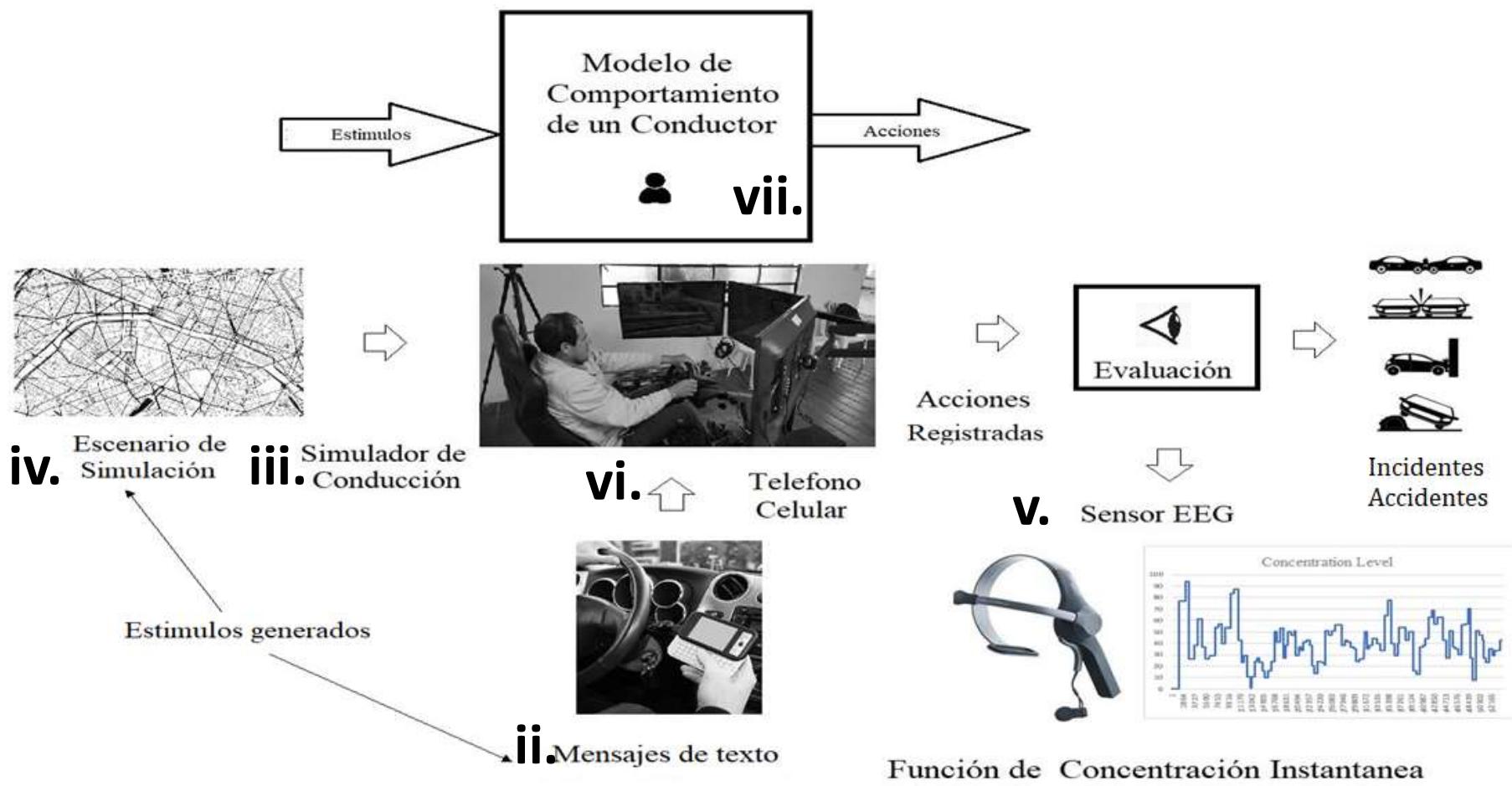


- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción  
de los modelos
- 5 Conclusiones
- 6 Productos

### **3. Desarrollo metodológico**

- i. Diseño del experimento
- ii. Selección de la conducta a estudiar – (distracción por recepción de mensajes de texto en el celular)
- iii. Selección y construcción del simulador
- iv. Diseño del escenario de simulación (escenario de conducción + generación de mensajes de texto)
- v. Selección y configuración del sensor de actividad eléctrica cerebral EEG para medir la concentración
- vi. Obtención del grupo de participantes
- vii. Especificación de las entradas y salidas de los modelos a construir

# i. Diseño del experimento



Función de Concentración Instantánea

## ii. Selección de la conducta a estudiar – (distracción por recepción de mensajes de texto en el celular)

### Factores que afectan el comportamiento de los conductores

**Distracción temporal**

- Efecto de alcohol
- Efecto de las Drogas
- Somnolencia y fatiga
- Ahogamiento por comida
- Stress

CORTO PLAZO

- Vejez
- Inexperiencia
- Enfermedad y discapacidad
- Adicciones
- Propensión a accidentes

LARGO PLAZO

- Actos compulsivos
- Comportamiento suicida
- Consumo moderado de etanol
- Drogas psicótropicas
- Vehículo involucrado en crímenes

CORTO PLAZO

- Sobreestimación de capacidades, actitud de “macho”
- Incidentes en el comportamiento del conductor
- No usar cinturón de seguridad o casco
- Velocidad habitual
- Irrespeto habitual a las normas de tránsito
- Propensión a accidentes
- Sentado inapropiadamente mientras conduce

LARGO PLAZO

Reducción la capacidad ante contingencias de tráfico

Modulación de la toma de riesgos mientras conduce

# Funciones cognitivas críticas para una conducción segura

**Dominios neuropsicológicos**

- Estado mental – cognición general
- Atención – **concentración**
- Funciones ejecutivas
- Lenguaje – funcionamiento verbal
- Habilidades visuoespaciales
- Memoria

**Tipo de distracción**

- Distracción por contacto físico
- Distracción visual
- Distracción auditiva
- Distracción cognitiva

Fuente: (Reger et. al, 2004)

Fuente: (Breen, 2009)

## Factores de distracción al conductor

Peligros en la distracción del conductor	Límite bajo	Límite alto	Promedio de riesgo
Uso del teléfono celular	8	10	8.6
Aseándose/maquillándose	8	10	8.5
Mirando un mapa o libro	8	10	8.5
Observando un objeto	6	9	7.4
Comiendo o bebiendo	5.3	8	6.3
Observando avisos de publicidad	4	8	5.7
Ajustando dispositivos	4	7	5.3
Fumando	3	7	5.3
Observado el paisaje	3	7	5.2
Uso de manos libres	3	6	4.7
Uso de GPS	3	6	4.6
Observar señales de tránsito	3	6	4.2
Hablar con pasajero	2	5	3.8
Escuchar música	1.2	4.8	3.3



Adaptado de Patel et al. (2008)

### iii. Selección y construcción del simulador

#### Opciones

- L3 Technologies, Inc., Link Simulation & Training
- Virtual Driver Interactive
- STISIM Systems Technology Incorporated
- **Foerst GmbH**

#### Ventajas:

- Adaptación
- Parte mecánica del simulador
- Software operativo del simulador de operación mecánica (types)
- Módulo para programar los escenarios de conducción



<https://www.fahrsimulatoren.eu/en/light-vehicle>

# Errores detectados por el simulador

No.	Type	Descripción	No.	Type	Descripción
1	3	Accidente	16	35	Número de revoluciones demasiado elevado
2	4	Errores en el margen de la carretera	17	37	Motor calado o apagado
3	5	Hecho caso omiso a la luz roja	18	40	No ha quitado el freno de mano
4	7	Demasiado rápido	19	44	Abandonado la vía
5	8	Hecho caso omiso de la preferencia de paso	20	45	Puesto en peligro a los usuarios de la vía pública
6	9	Luces no encendidas	21	46	Ha accionado el intermitente erróneo en el cruce
7	10	Ha puesto las luces de carretera	22	74	Hecho caso omiso a la señal de STOP
8	12	No ha accionado el intermitente en el cambio de carril	23	93	Dirección prohibida, ignorado flecha de dirección
9	14	Rebasado la línea de la carretera	24	100	Número de revoluciones demasiado pequeño
10	16	Proceso de cambio de marcha no permitido	25	101	Cambio de marcha sin pisar el embrague
11	19	Viaje cancelado	26	103	Fin del viaje
12	21	Adelantado por el carril erróneo	27	119	Número elevado de revoluciones por cambio de marcha erróneo
13	22	Sobrepasado límite de velocidad	28	120	Bajo número de revoluciones por cambio de marcha erróneo
14	24	Distancia al vehículo de delante demasiado escasa	29	121	Motor calado por cambio de marcha erróneo
15	27	Lado del carril erróneo	30	155	Pise el embrague antes de presionar el botón de arranque

# Información grabada por el simulador

```
Errorlogfile: C:\Logfiles\ErrLog_18-11-25_13-55-18.txt
ScenarioPath: ./scenarios/stock/passengercar/free_driving.sce
Scenario: - (2,1,6,3,2,4,3,1,1)

No.      Time     Typ      Comment
001      6.033    012     Indicator not activated for lane change
002      10.433   009     Light not switched on
003      19.432   012     Indicator not activated for lane change
004      20.499   009     Light not switched on
005      22.532   046     Indicator not set in the correct way
006      30.565   009     Light not switched on
007      32.365   003     Accident
008      49.931   009     Light not switched on
009      59.997   009     Light not switched on
010      70.064   009     Light not switched on
011      73.097   007     Too fast
012      80.097   009     Light not switched on
013      90.163   009     Light not switched on
014      107.162  009     Light not switched on
015      117.195  009     Light not switched on
016      127.261  009     Light not switched on
017      160.127  009     Light not switched on
018      163.127  008     Right of way disregarded!
019      170.193  009     Light not switched on
020      173.226  007     Too fast
021      178.426  003     Accident
022      187.525  009     Light not switched on
```



Simulador construido

## ii. Diseño del escenario de simulación

### Escenario de conducción



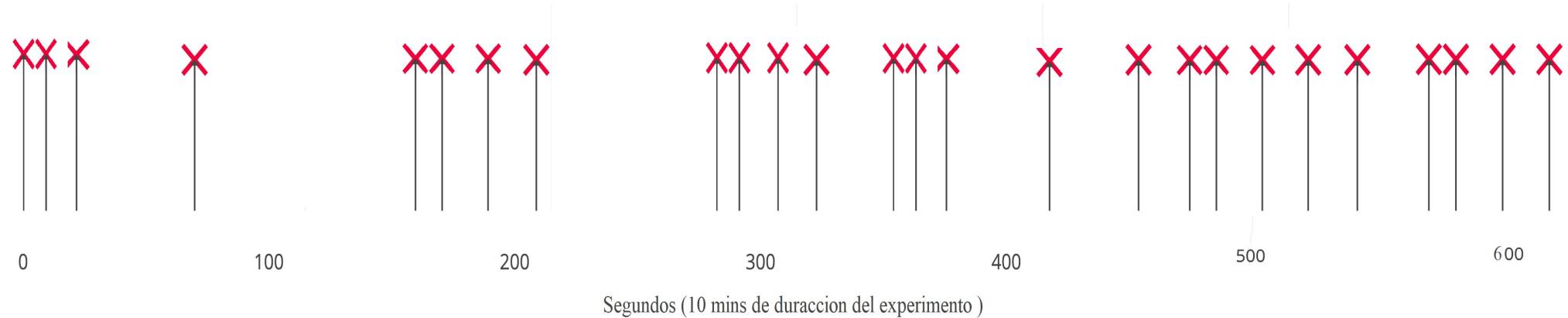
- Escenario exigente (10 minutos de conducción por participantes, kinetosis)
- Escenario 6:00 PM a 7:00 PM
- Entorno urbano con tráfico de hora pico
- Simulación de ir dentro del vehículo (< 135º)
- Personas y animales
- Complejidad de la geometría de las vías
- Tráfico mixto
- Types o eventos que ocurren en el escenario



<https://www.fahrsimulatoren.eu/en/light-vehicle>

# Generación de mensajes de texto

Mensajes de texto enviados en tiempos aleatorios con una distribución de tipo proceso de Poisson



## v. Selección y configuración del sensor de actividad eléctrica cerebral EEG para medir concentración

Modelos planteados a partir de variables proxy como: presión arterial, ocurrencia de accidentes, etc..

Cámaras y sensores de movimientos de ojos, cabeza y cuerpo (alto costo).

Estudios con equipos médicos usados para medir EEG/MEG usados para estudios clínicos (condiciones especiales, alto costo).



The NeXus EEG HeadSet



OpenBCI Ultracortex IV

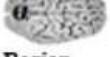
Sensores portátiles para medir de actividad eléctrica cerebral EEG de bajo costo y buena precisión recientemente desarrollados.



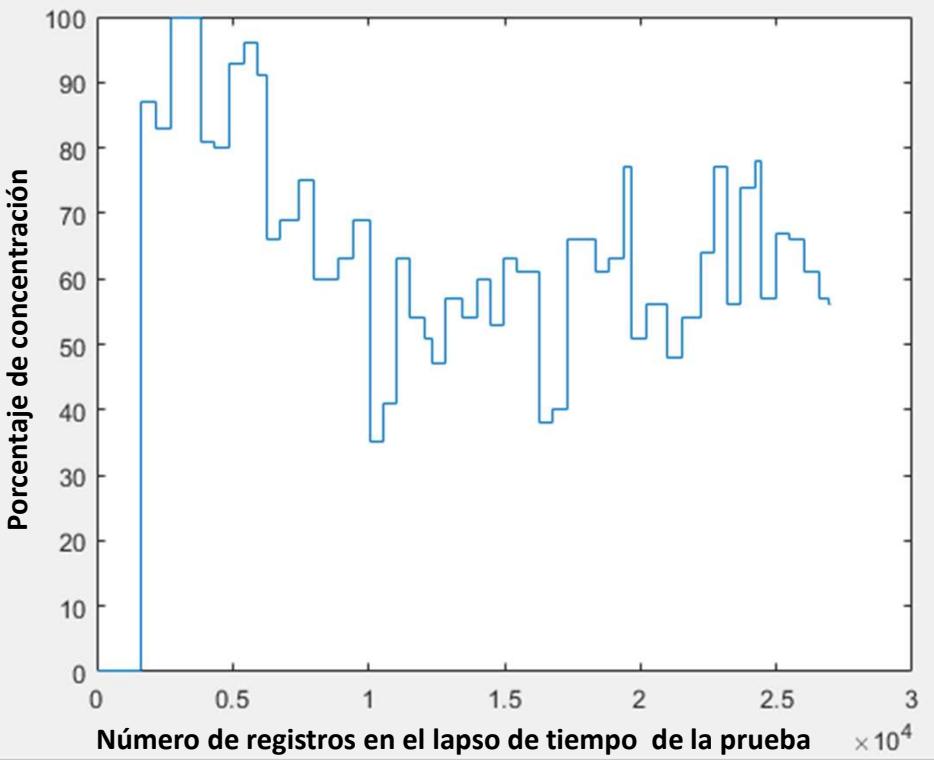
MindWave™ Headset



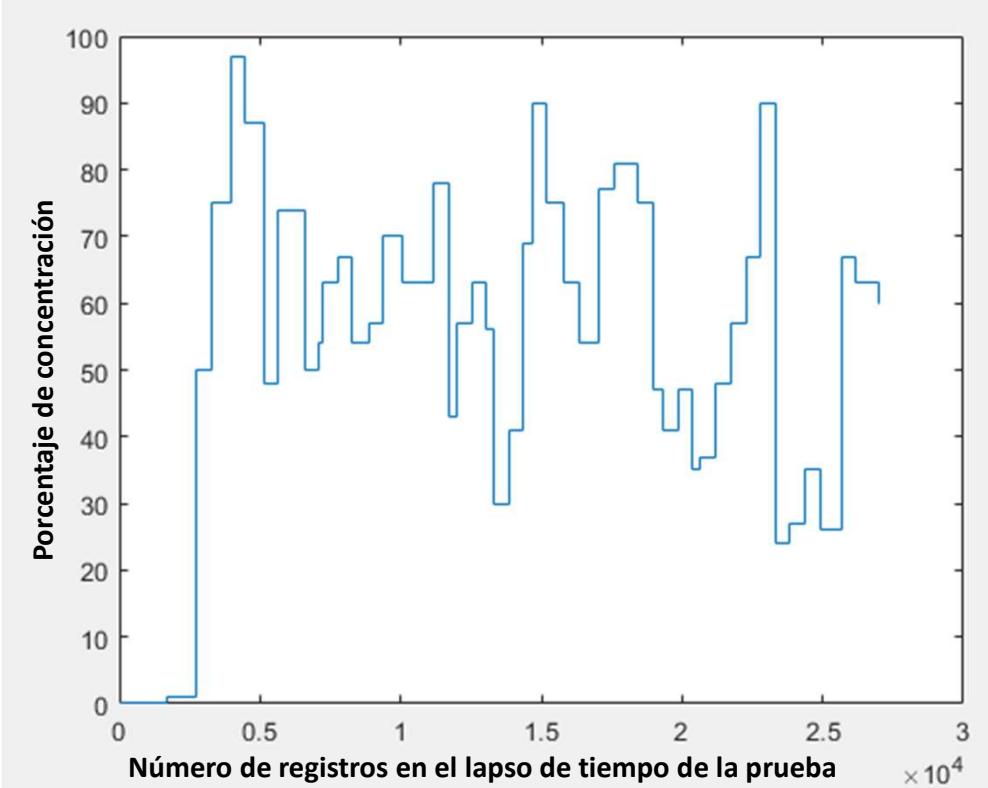
Emotiv EPOC X Mobile  
14-channel

<i>Bandas</i>	<i>Rastreo/ Símbolo</i>	<i>Frecuencia Hz</i>	<i>Estado Fisiológico</i>
<i>Delta</i>  Niño Posterior Delante Adulto	$\delta$ 	1-4 Hz	-Infancia -Enfermedad cerebral -Sueño profundo
<i>Theta</i>  Difusa en la corteza	$\theta$ 	5-7 Hz	-Sueño -Especialmente durante la infancia -El estrés emocional -En tareas de alta concentración
<i>Alpha</i>  Region Posterior	$\alpha$ 	8-12 Hz	-Despierto con los ojos cerrados -Relajación
<i>Beta</i>  Region frontal	$\beta$ 	13-30 Hz	-Persona despierta y activa -Estado de atención
<i>Gamma</i>  Corteza Somatosensitiva	$\gamma$ 	31-45 Hz	-Estados de vigilia -Foco atencional y la memoria





Grado de concentración sujeto 10



Grado de concentración sujeto 80

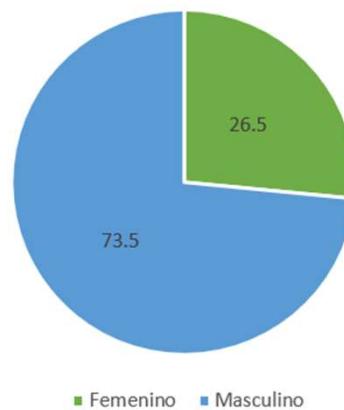
## vi. Obtención del grupo de participantes

Se logró obtener la participación de 167 conductores (haber conducido al menos una vez anterior mes) entre los 16 y los 90 años de edad con licencia de conducir vigente y sin ningún tipo de enfermedad física o desorden cognitivo. Se buscó que el grupo que replicara al menos de manera aproximada la diversidad de la población de conductores en Colombia en los siguientes aspectos demográficos:

- Genero
- Estrato socioeconómico
- Nivel educativo
- Edad

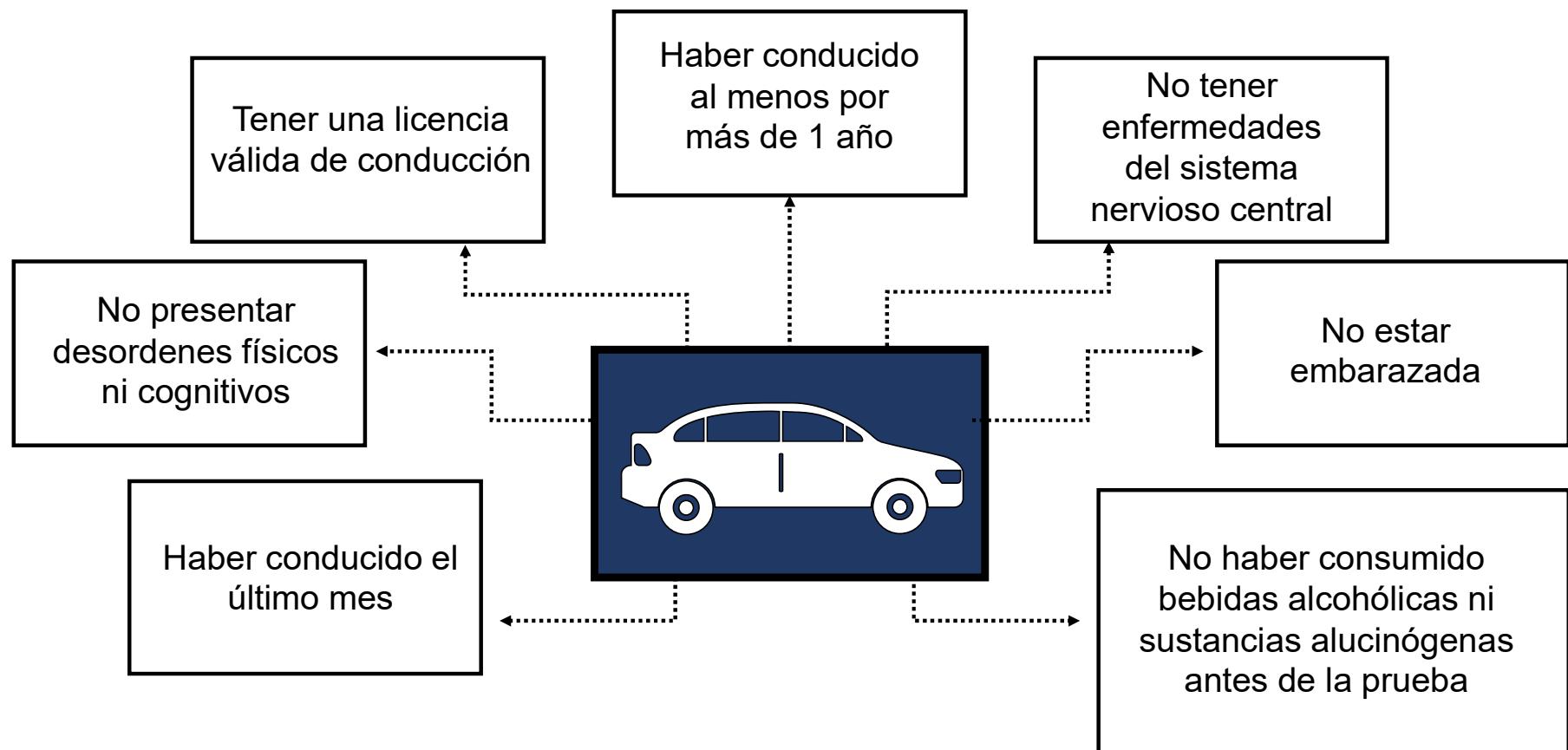


<https://www.runt.com.co/runt-en-cifras>



# Criterios de exclusión

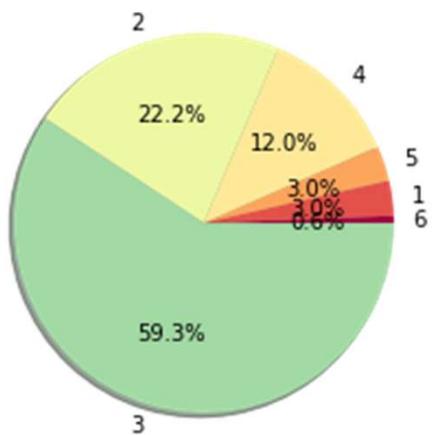
La muestra poblacional que participó en esta investigación doctoral cumplió ciertos criterios básicos, los cuales se presentan a continuación:



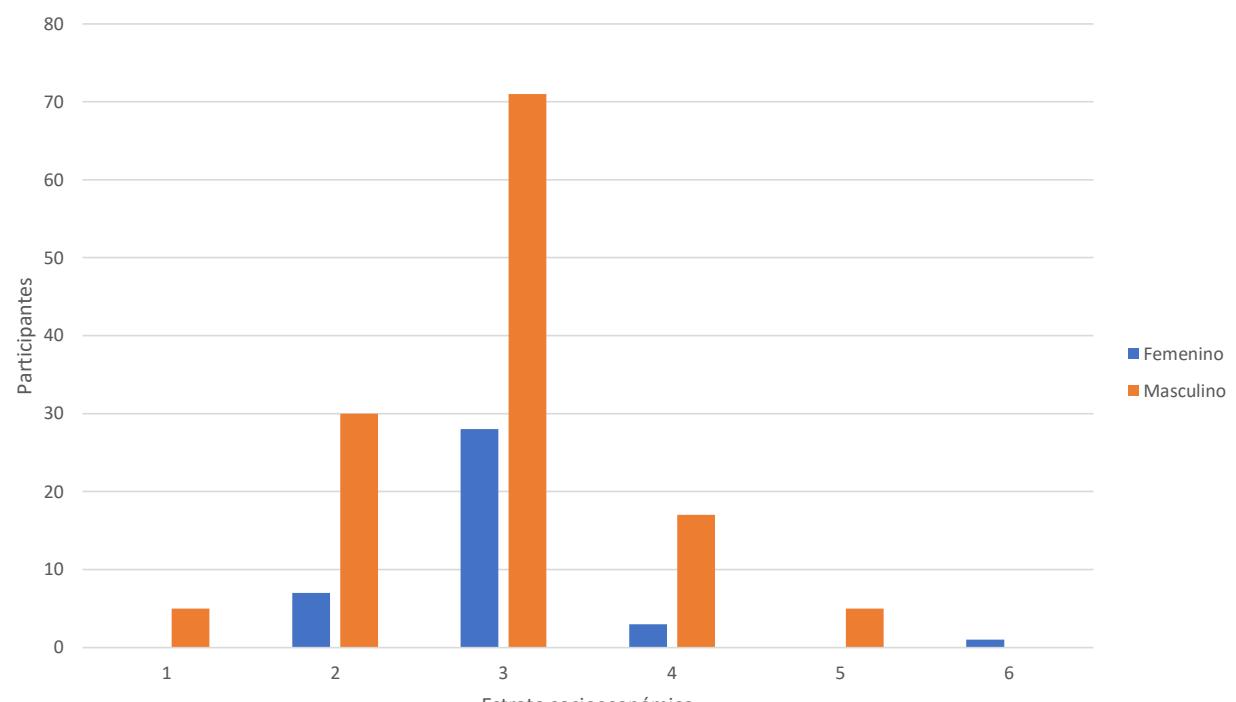
# Datos obtenidos

- 167 participantes
- 39 mujeres
- 128 hombres
- 30 errores de conducción recurrentes
- 28000 registros promedio de concentración por participante
- Total de datos a analizar = 140.280.000 promedio

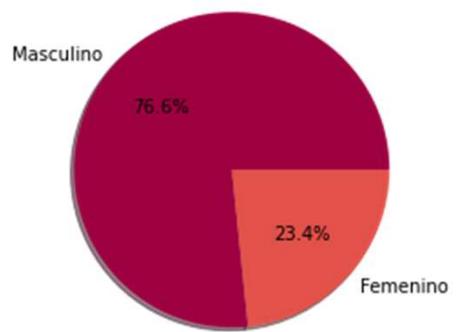
Distribución de estratos



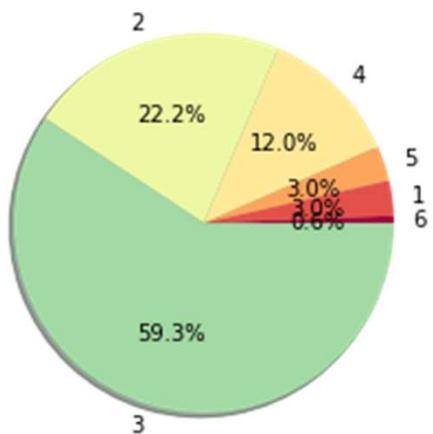
Distribución de participantes por estrato socioeconómico



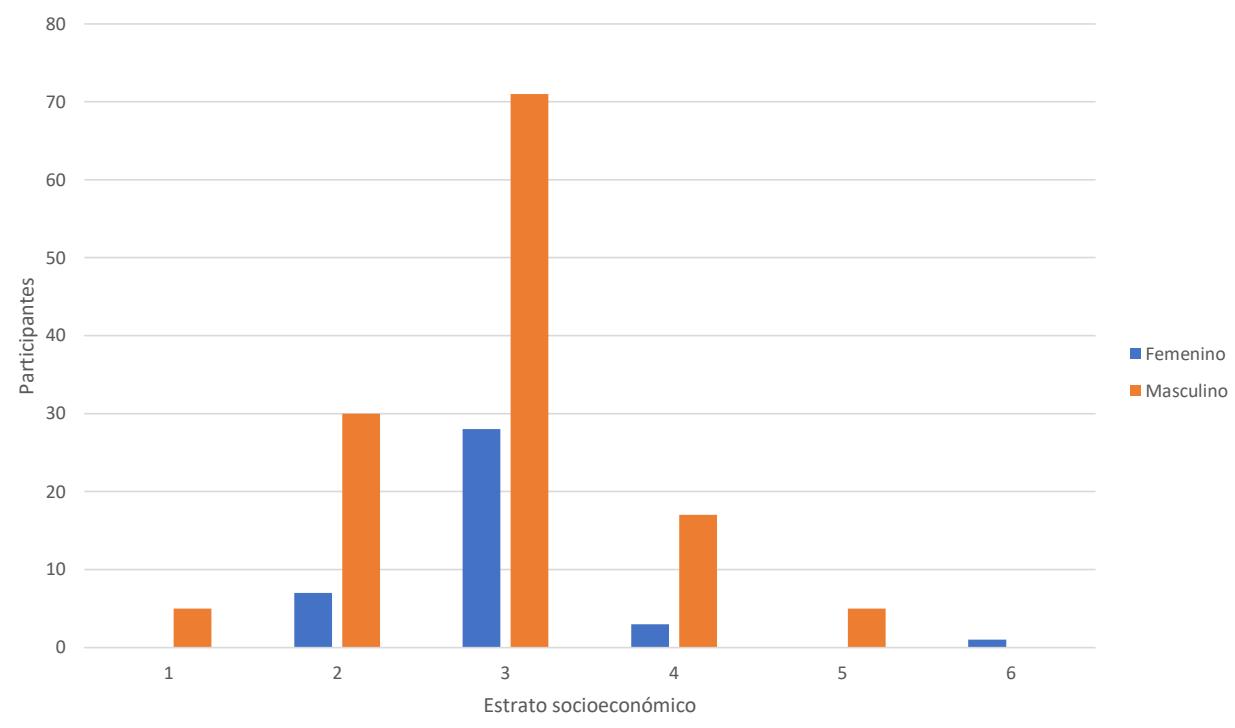
Distribución de género



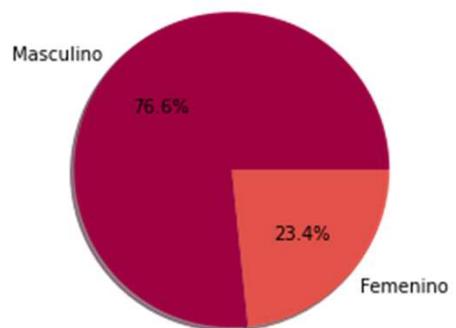
Distribución de estratos



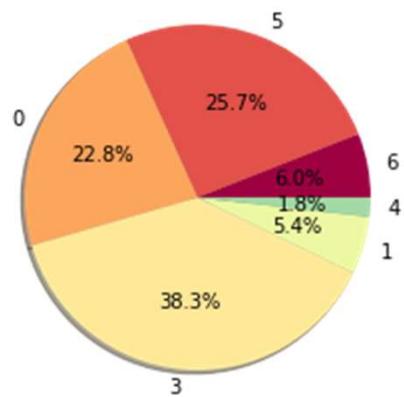
Distribución de participantes por estrato socioeconómico



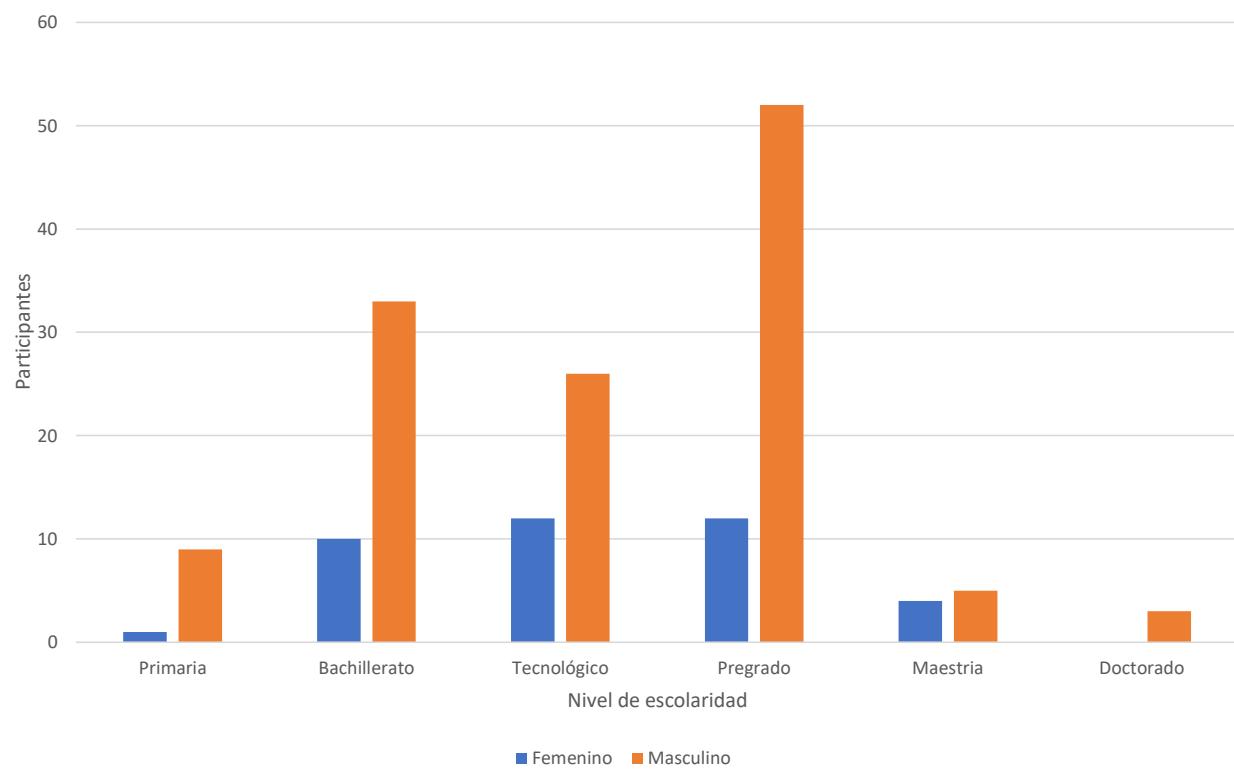
Distribución de género



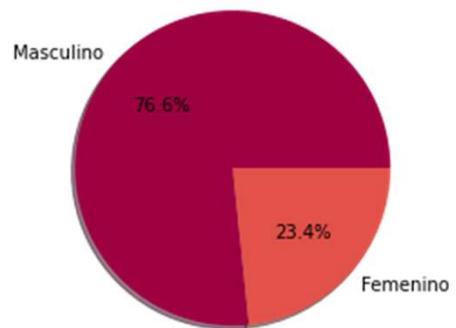
Distribución de NivelEd

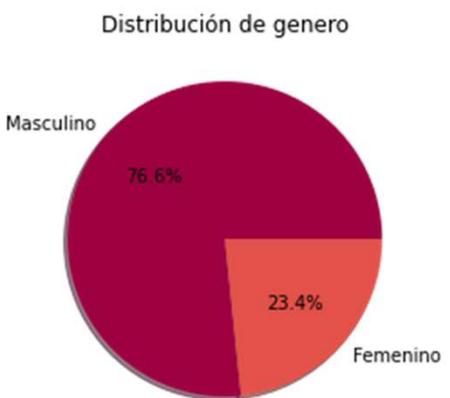
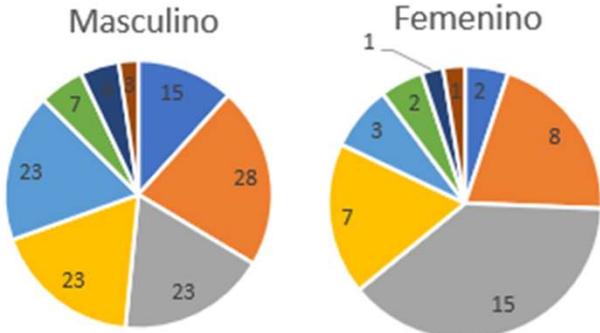


Distribución de participantes por nivel de escolaridad

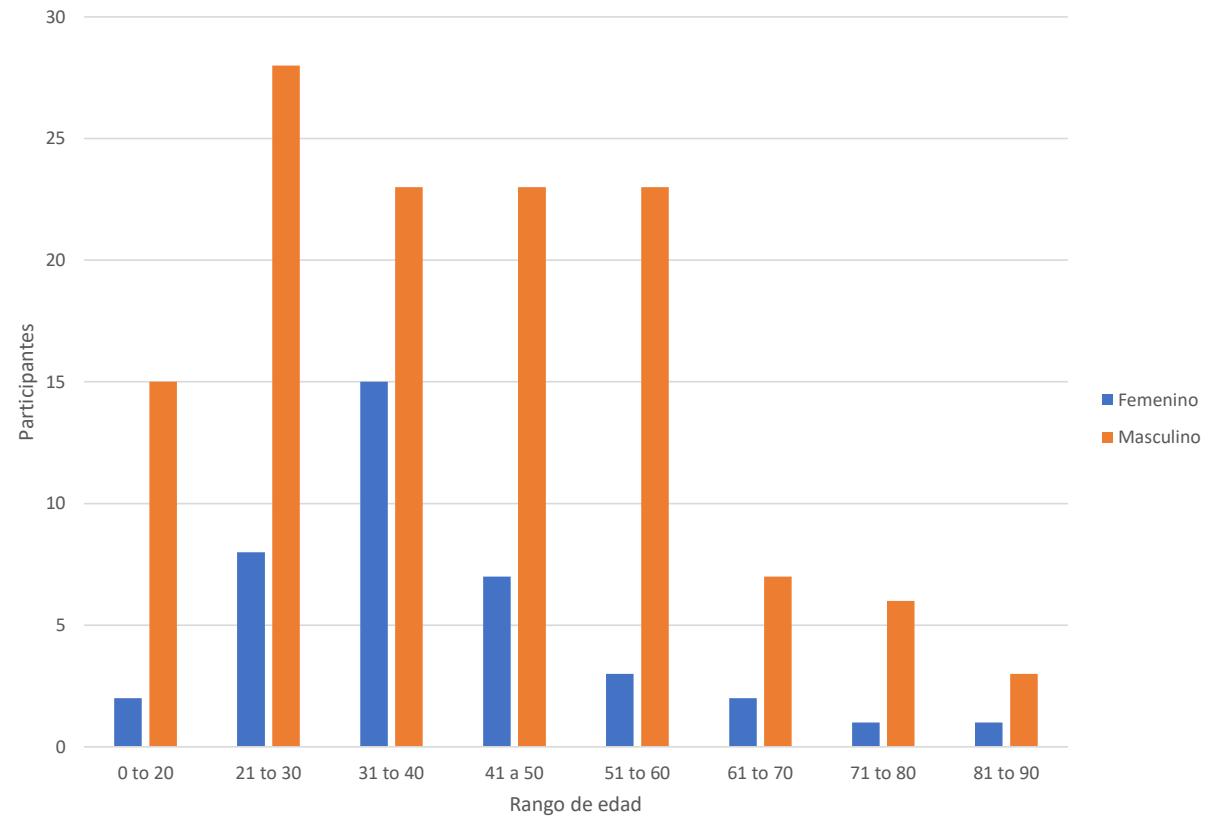


Distribución de genero





Distribución de participantes por grupo y rango de edad



# Preparación antes de la prueba

## Minutos previos a la prueba

- Adecuación del escenario
- Presentar licencia de conducción
- Consentimiento informado
- Desinfección del sensor
- Explicación de la prueba
- Desinfección y entrega de un celular
- Desinfección de silla, timón y palanca de cambios

## Dificultades

- Participantes para construir la prueba
- No entender el uso del simulador
- Confundirse con los controles
- Desconfianza
- Tiempos de espera
- Varios participantes no entendían que iban conduciendo dentro del vehículo
- Hubo gente que no pudo hacer la prueba
- Sobreestimación de accidentes

## Consentimiento informado en el cual se le informa al participante del experimento

- Se va a grabar un registro de sus señales biológicas (ondas eléctricas generadas por el cerebro)
- Dicha información se va a almacenar en un archivo electrónico.
- Posteriormente, se usará esta información para analizar los patrones de comportamiento durante la conducción en el simulador.
- Esta información es confidencial, con fines académicos y no afecta su salud física y mental.

En conocimiento de todo ello y de las medidas que se adoptarán para la *protección de los datos personales* de los / las participantes según la normativa vigente,

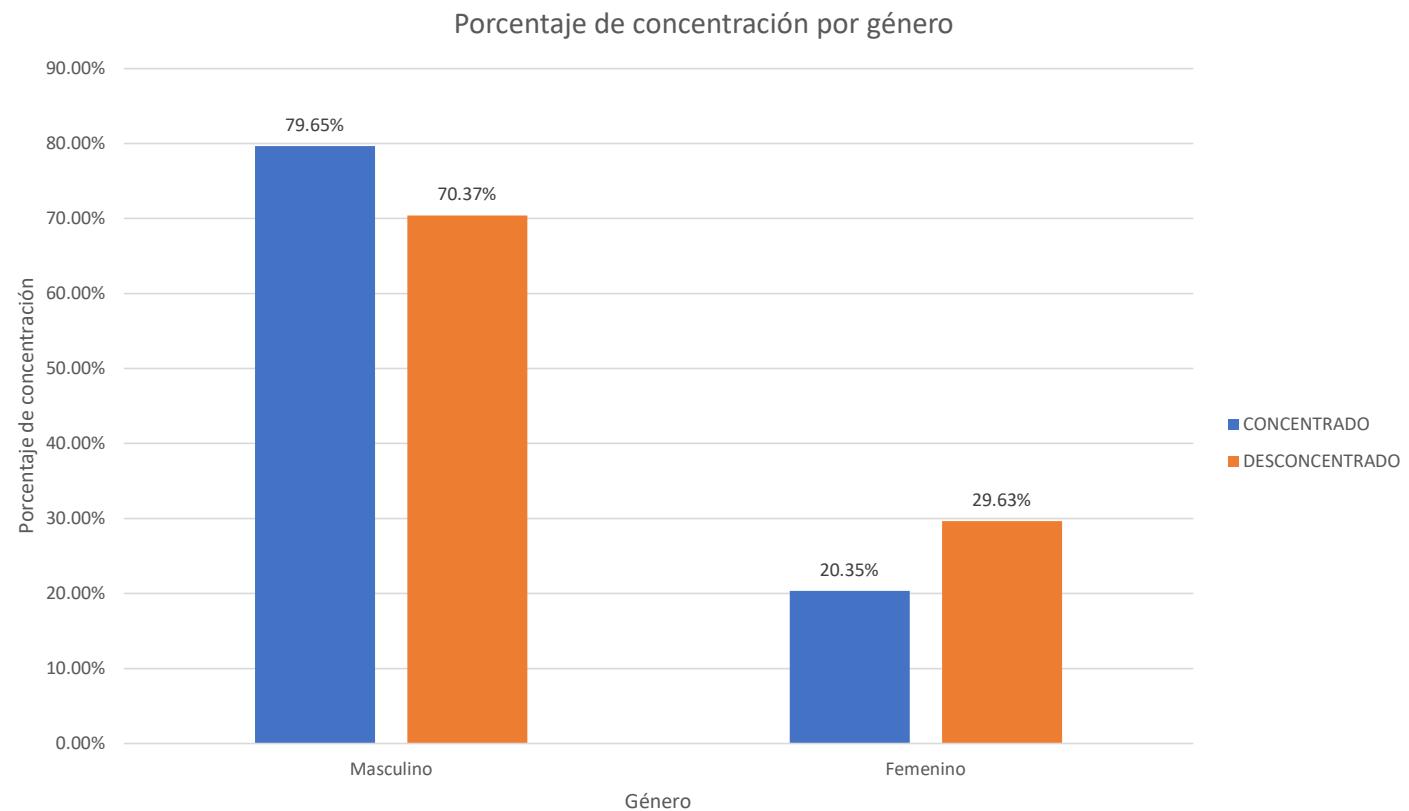
**OTORGA** su consentimiento para la participación del / la citado/a en la actual investigación



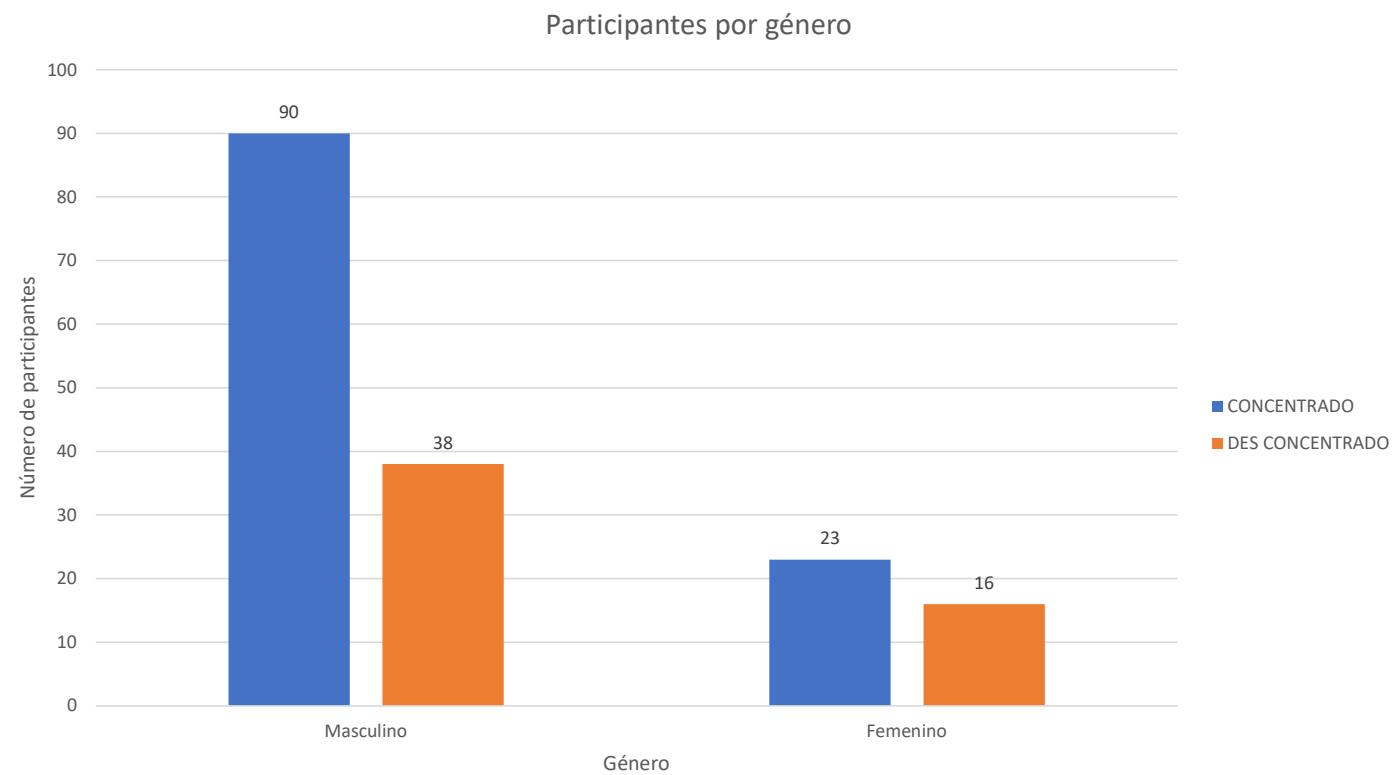


# Análisis exploratorio de los resultados

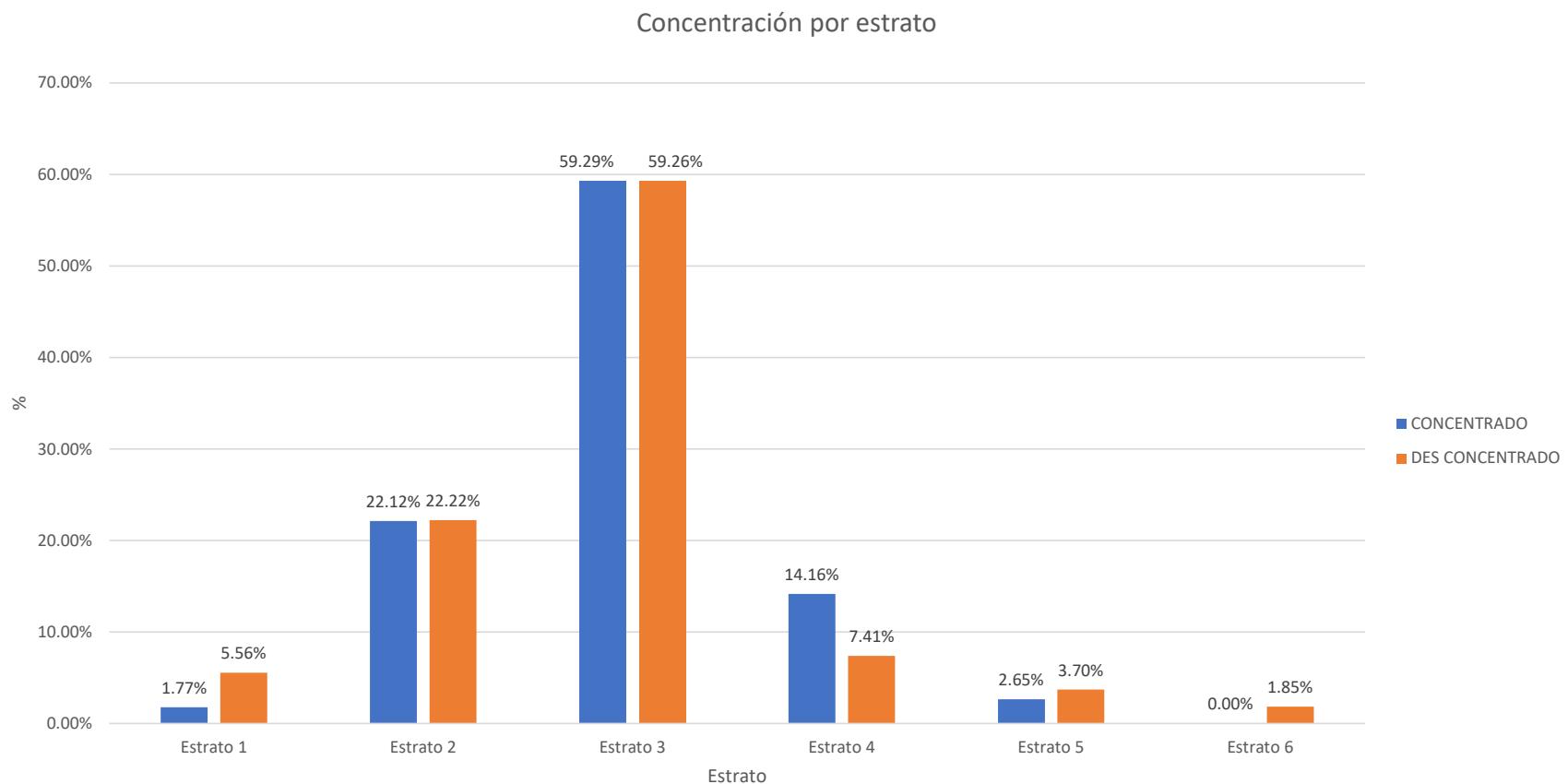
## Hallazgos



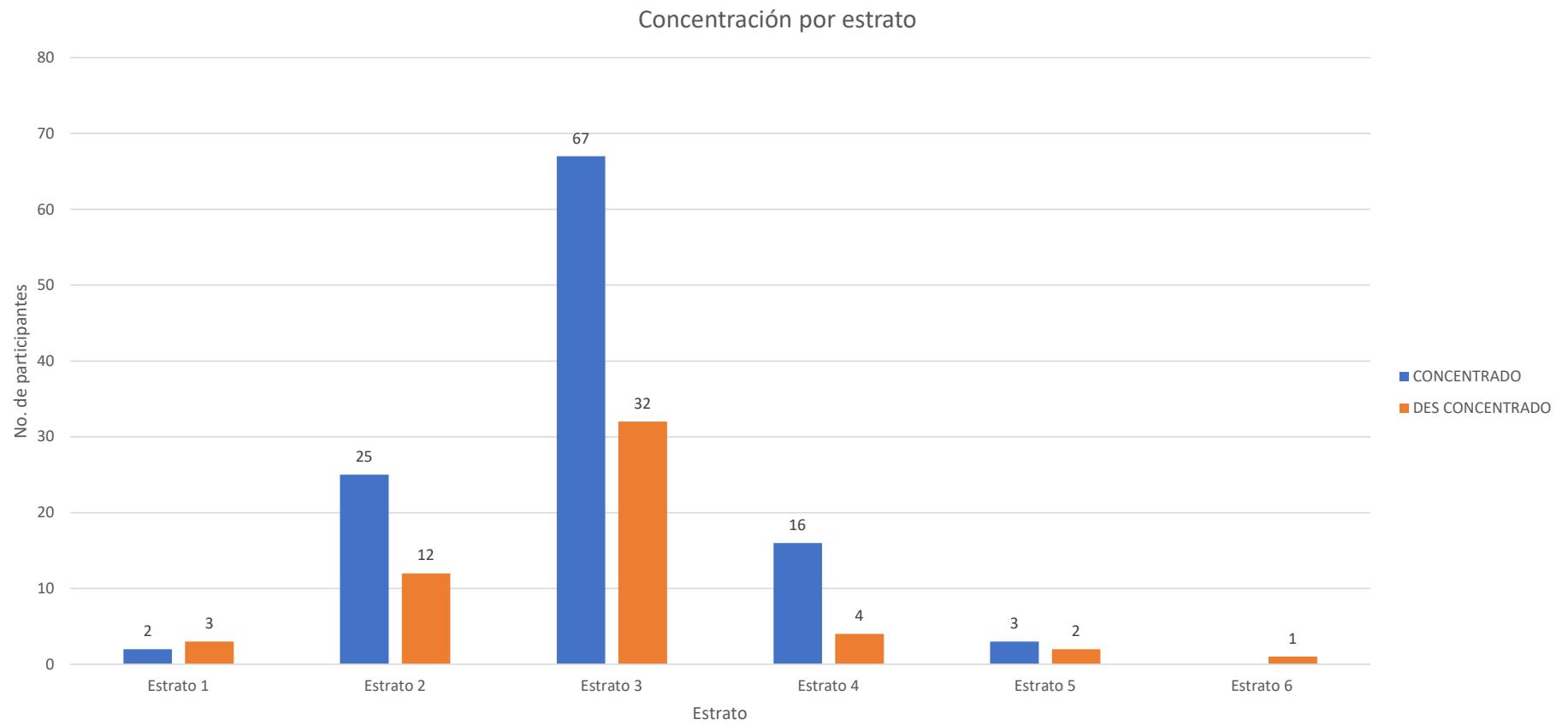
# Hallazgos



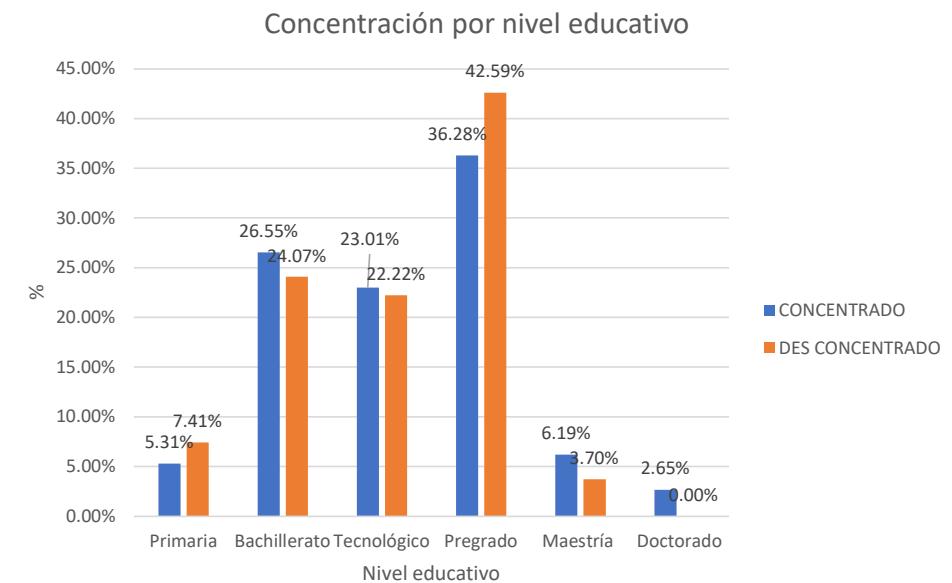
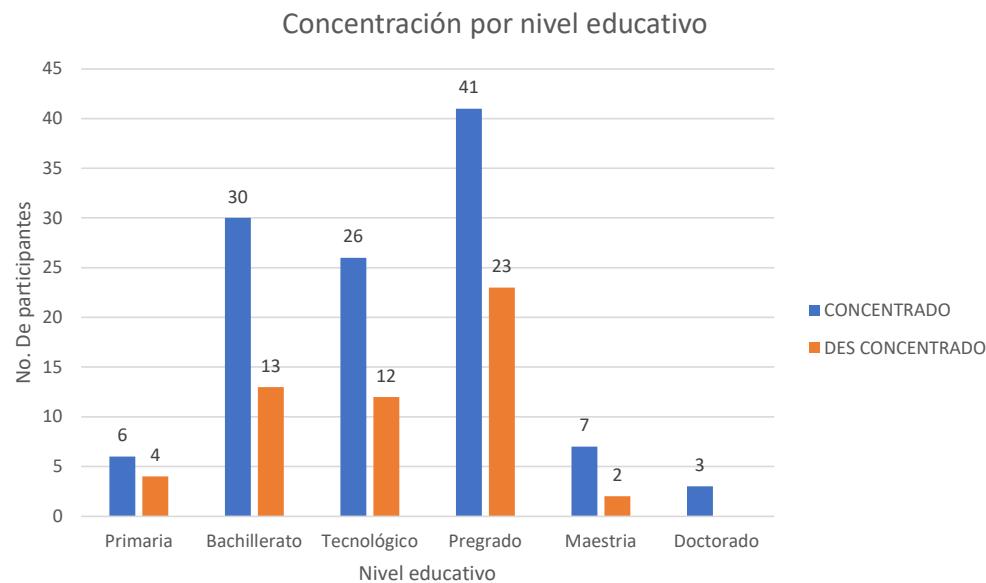
# Hallazgos



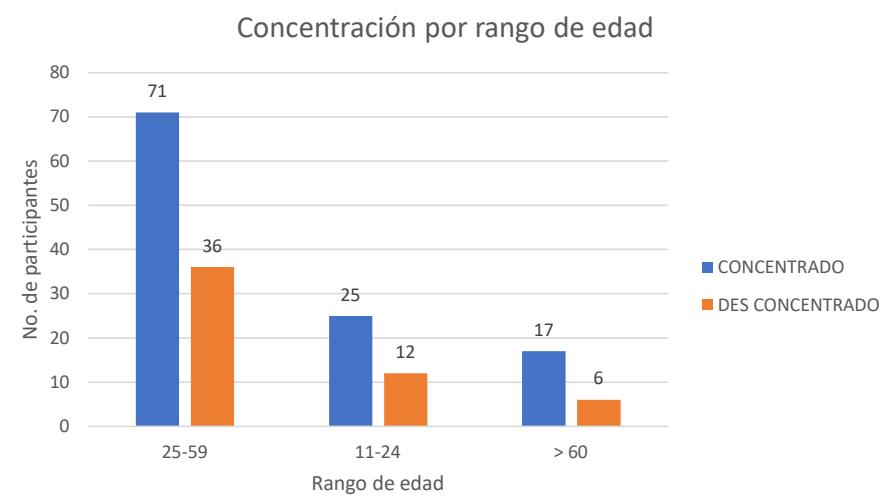
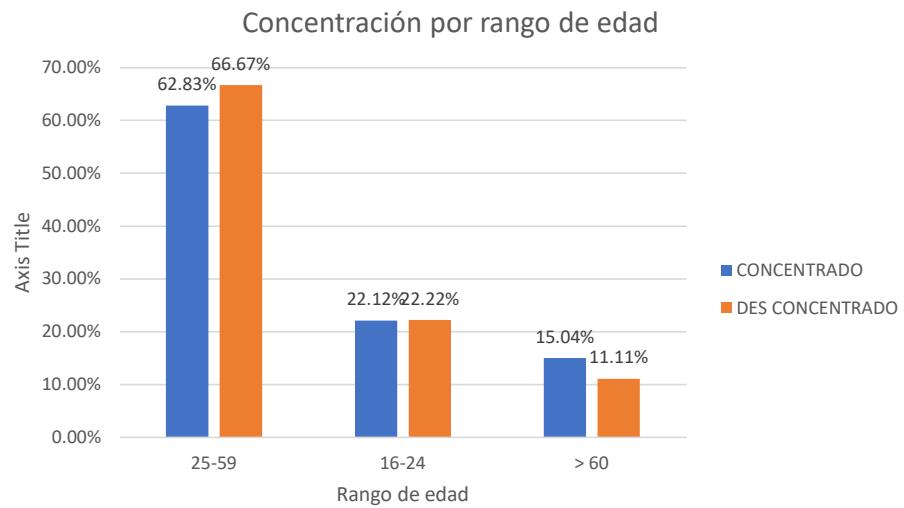
# Hallazgos



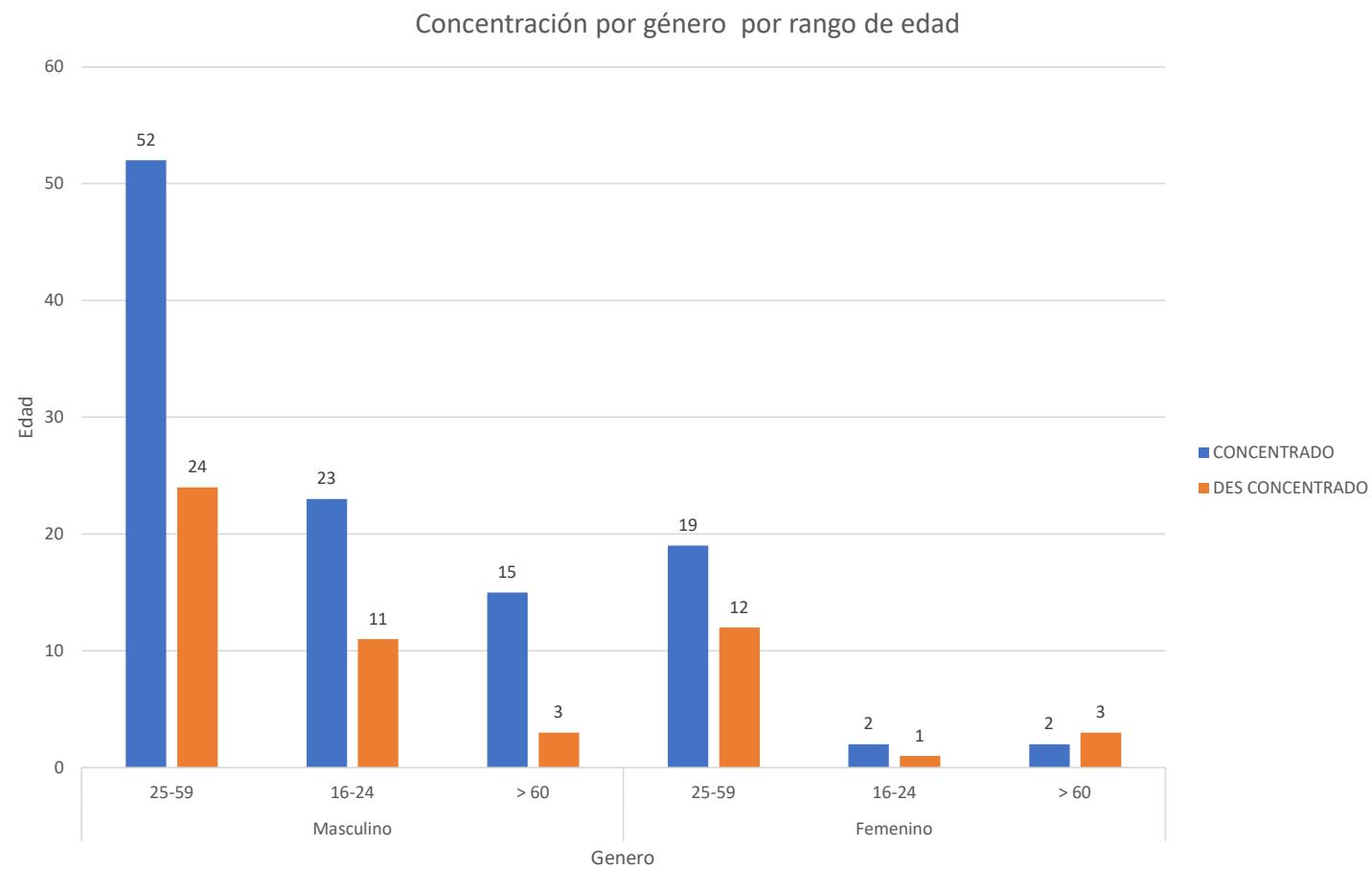
# Hallazgos



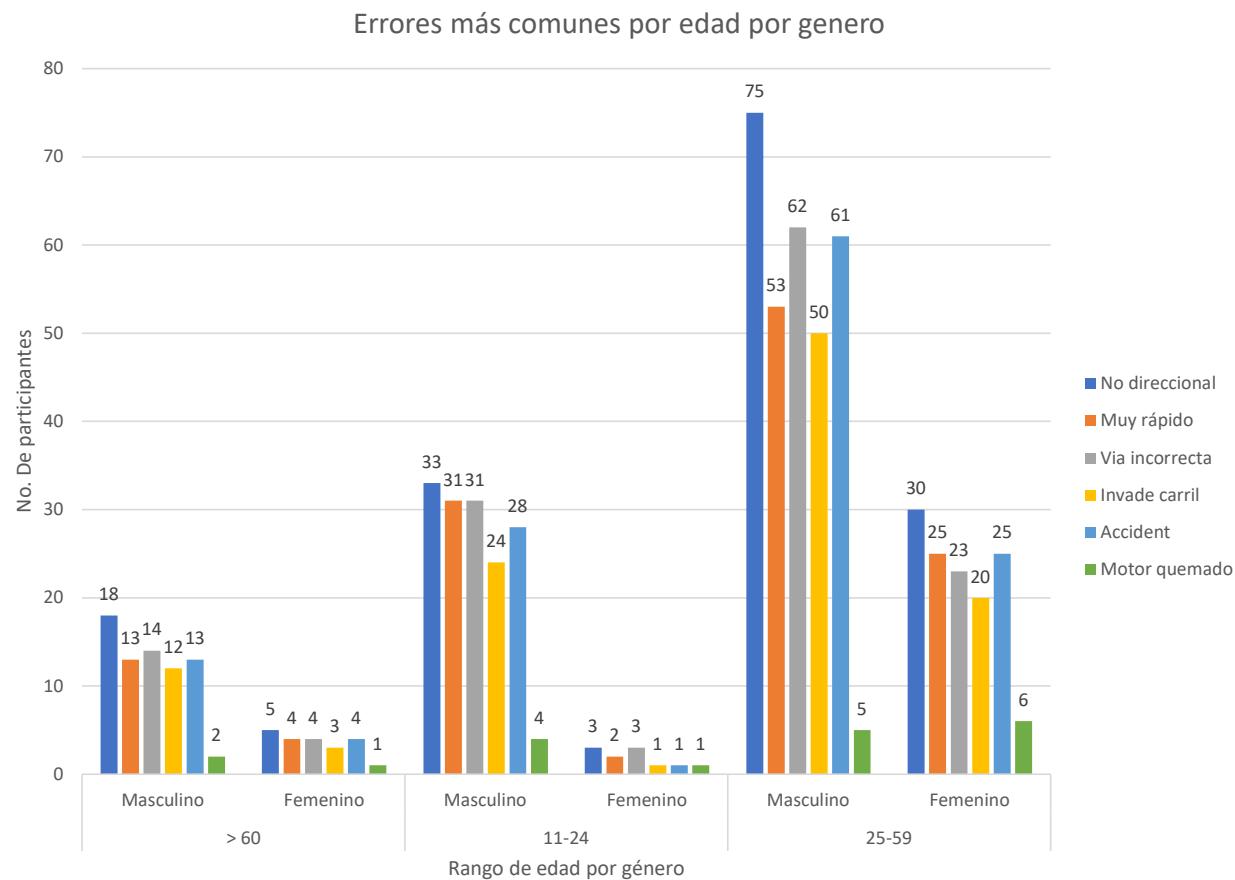
# Hallazgos



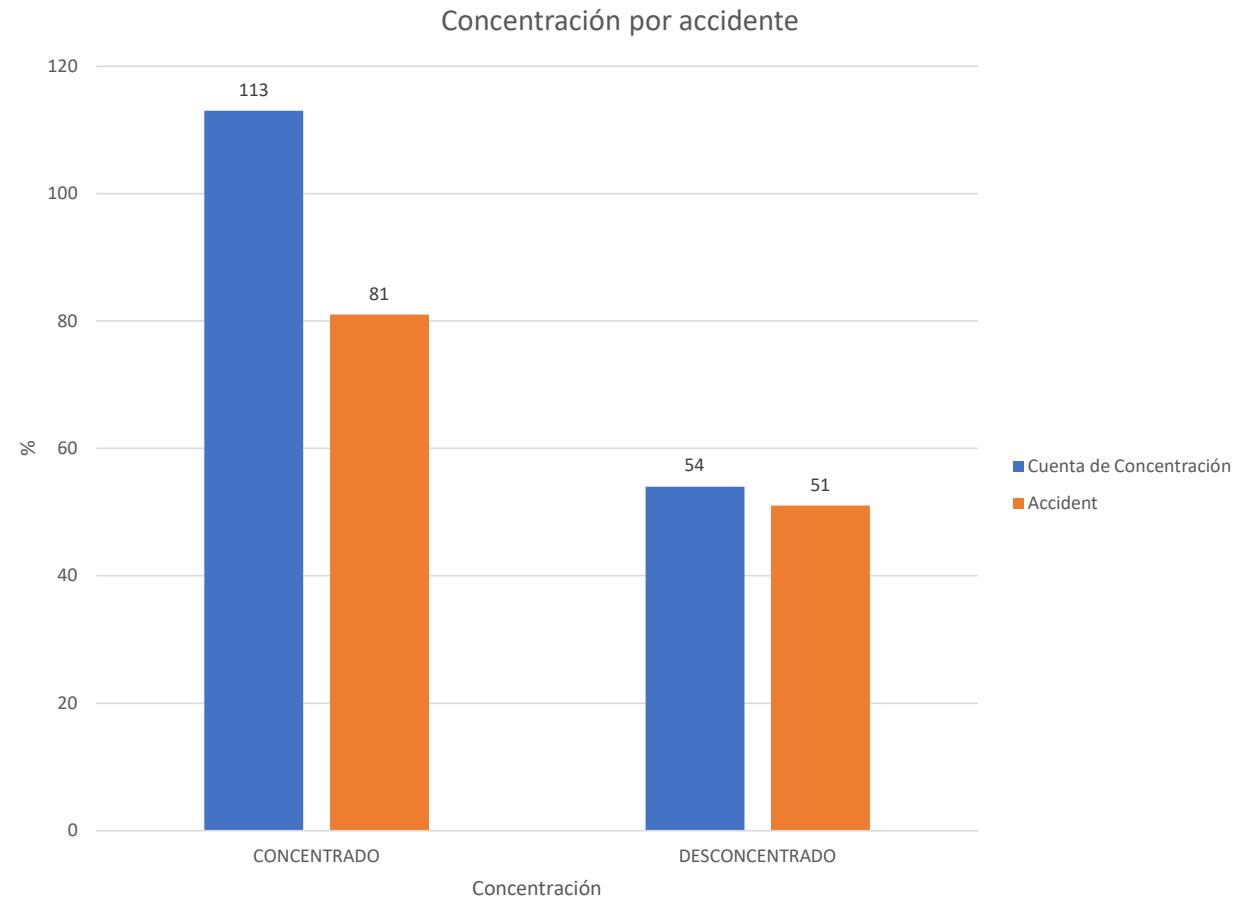
# Hallazgos



# Hallazgos

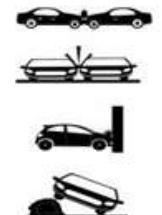
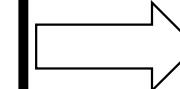
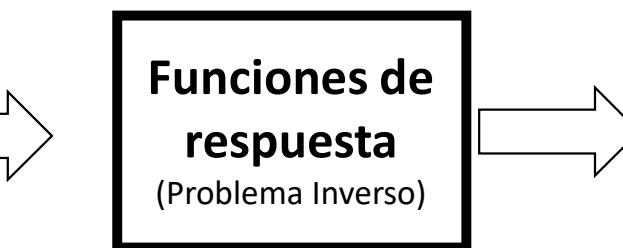
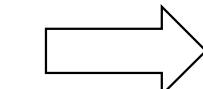


# Hallazgos



## vii. Especificación de las entradas y salidas del modelo a construir

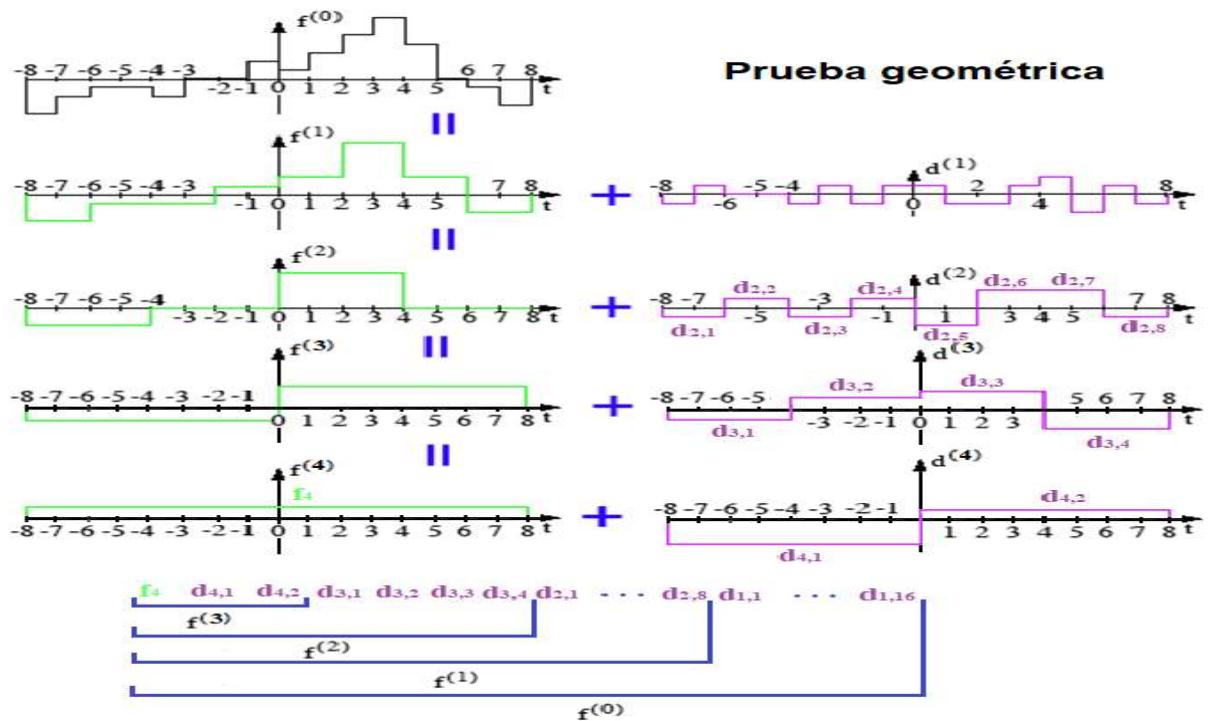
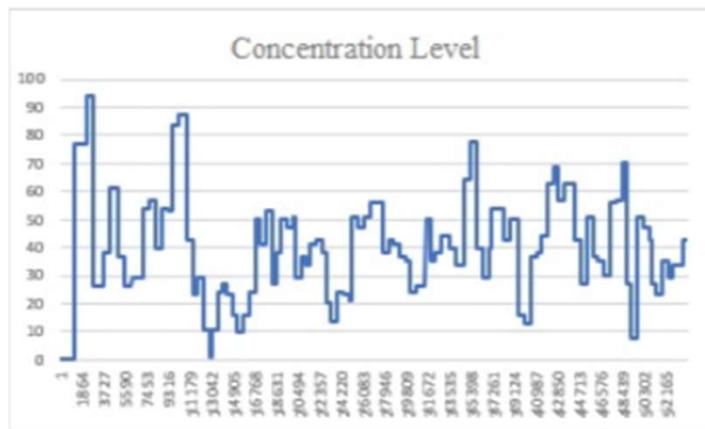
- Información demográfica del conductor
  - Genero
  - Estrato socioeconómico
  - Nivel educativo
  - Edad
- Información del conductor recolectada en el simulador de
  - Registro de accidentes con estampas de tiempo (conducción indebida, infracciones y accidentes)
  - Funcionamiento sistemas
  - Registros (cámaras, sensores, cajas negras, etc.)
- Información del conductor recolectada en el sensor de actividad cerebral EEG
  - Concentración (Canal Alpha)



Incidentes  
Accidentes

Probabilidad  
conductor genere  
accidentes.

# Representación del Espacio funcional de Funciones de Concentración Instantánea EFCI



# Agenda



- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción  
de los modelos
- 5 Conclusiones
- 6 Productos

## **4. Resultados y construcción del modelo**

- Análisis exploratorio de los resultados experimentales
- Alternativas exploradas para construir los modelos
- Modelo econométrico
- Modelos construidos con regresión logística
- Modelo construido con un árbol de decisión
- Modelo construido con una red neuronal

# Modelos econométricos de elección

$$Y = 1.18 - 1.05 C$$

Modelo base

Donde:

Y= Probabilidad de accidente  
C= Concentración

BIOGEME Version 1.8 [Sat Mar 7 14:36:56 CEST 2009]  
Michel Bierlaire, EPFL

Modelo para encuestas de preferencia

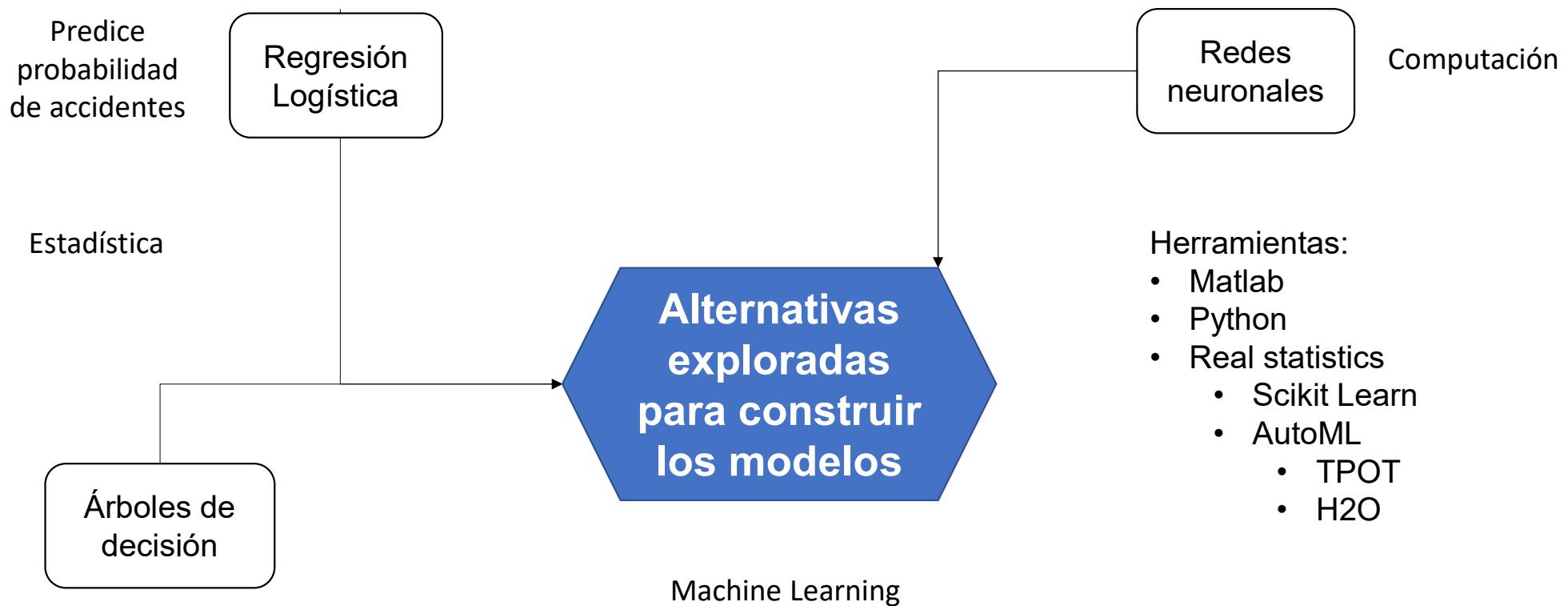
Model: Multinomial Logit  
Number of estimated parameters: 2  
Number of observations: 167  
Number of individuals: 167  
Null log-likelihood: -115.756  
Cte log-likelihood: -75.511  
Init log-likelihood: -115.756  
Final log-likelihood: -72.590  
Likelihood ratio test: 86.331  
Rho-square: 0.373  
Adjusted rho-square: 0.356  
Final gradient norm: +1.354e-004  
Diagnostic: Convergence reached...  
Iterations: 4  
Run time: 00:00  
Variance-covariance: from analytical hessian  
Sample file: MED WAR.dat

Utility parameters

\*\*\*\*\*

Name	Value	Std err	t-test	p-val	Rob. std err	Rob. t-test	Rob. p-val
ASC1	1.18	0.256	4.61	0.00	0.256	4.61	0.00
ASC2	0.00	--fixed--					
Bc	1.05	0.452	2.32	0.02	0.452	2.32	0.02

# Alternativas exploradas para construir los modelos

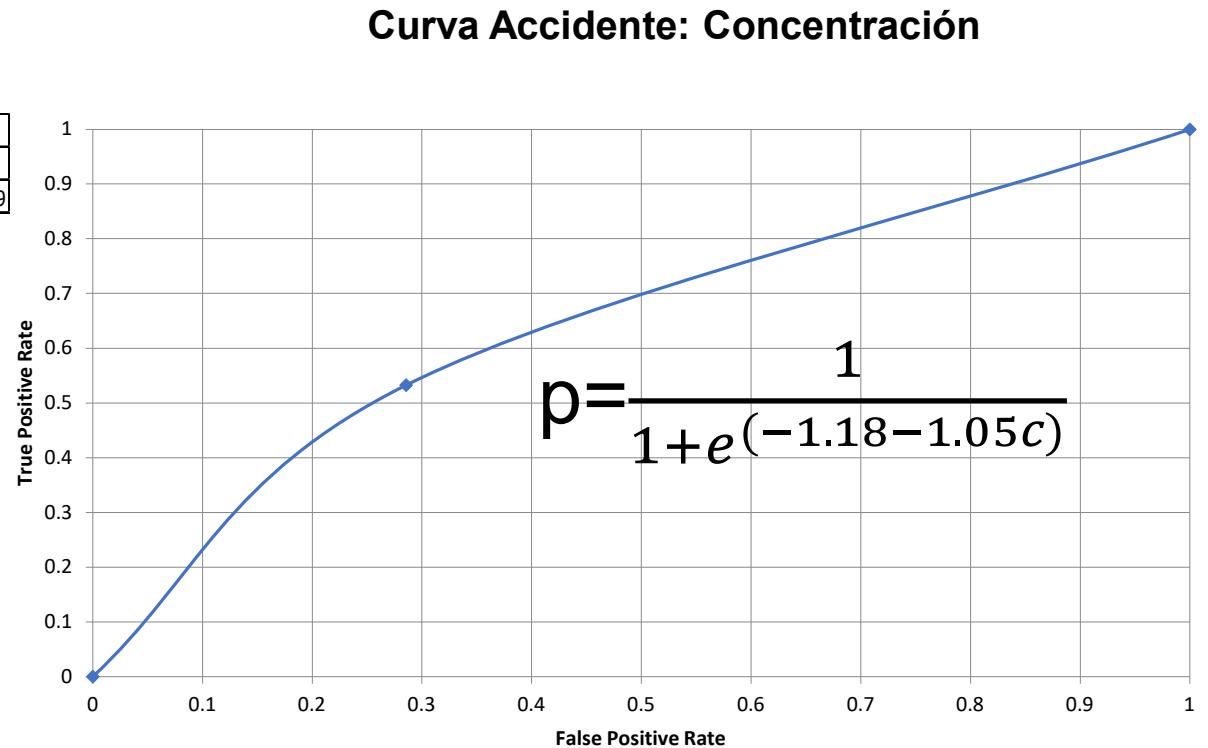


# Modelos de regresión logística

# Modelo construido utilizando ML regresión logística

	<i>coeff b</i>	<i>s.e.</i>	<i>Wald</i>	<i>p-value</i>	<i>OR</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>
Intercept	-1.178655	0.25570416	21.2470104	4.0E-06	3.3		
conc. Norm.	-1.04596856	0.4515508	5.36567071	0.021	2.8	1.2	6.9

Chi-Sq	5.84
p-value	0.016
AUC	0.87
Accuracy	0.83

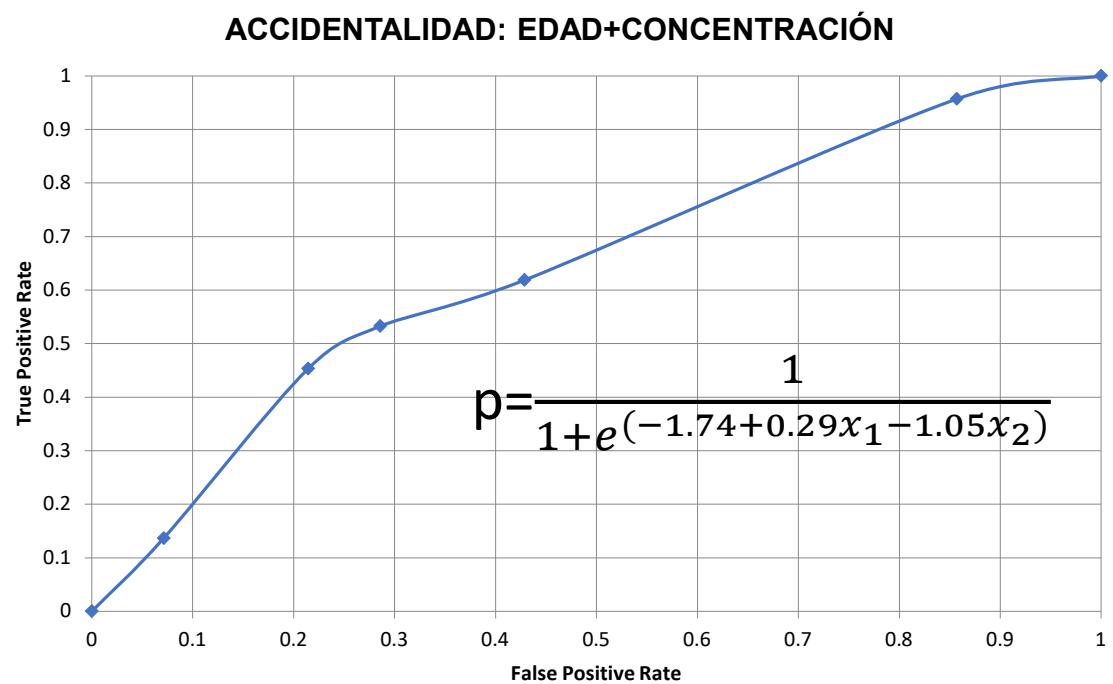


# Modelo construido utilizando ML regresión logística

## Con diferentes variables

	<i>coeff b</i>	<i>s.e.</i>	<i>Wald</i>	<i>p-value</i>	<i>exp(b)</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>
Intercept	-1.7492	0.76814489	5.18563213	0.02277439	5.750		
Rango Etareo	0.2922	0.36655593	0.63549717	0.42534606	0.747	0.3640	1.5315
conc. Norm.	-1.0452	0.45242988	5.33741583	0.02087239	2.844	1.1717	6.9032

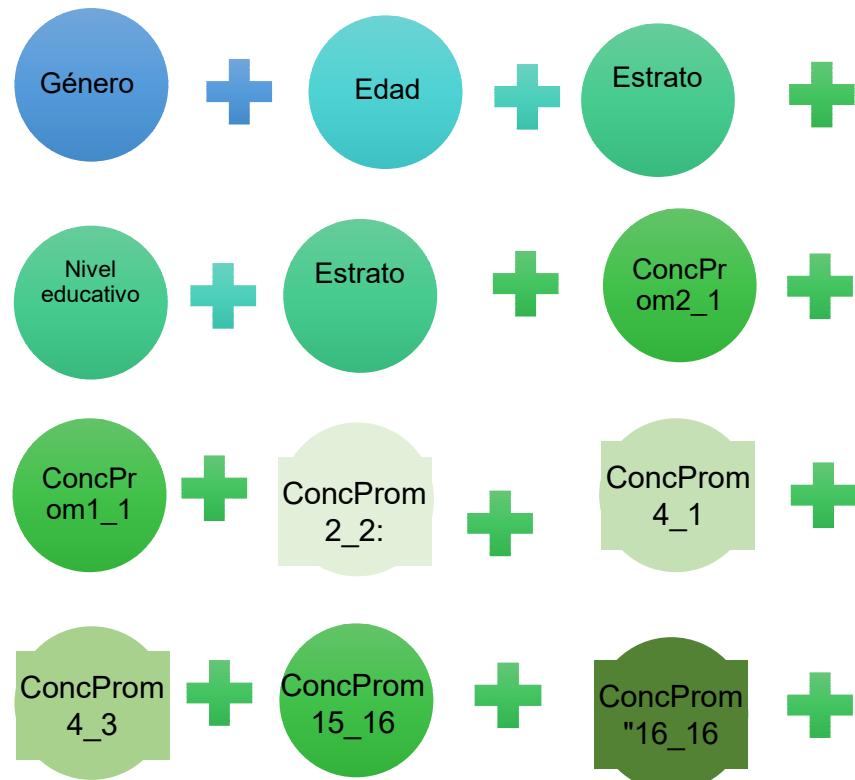
Chi-Sq	6.48
p-value	0.0391
Hosmer	1.63
p-value	0.8035
Accuracy	0.83
AUC	0.75



# Función de Concentración Instantánea

Concentración	ventana de observación	Tiempo
ConcProm1	completa	
ConcProm2_1	primera mitad del tiempo	primeros 5 minutos
ConcProm2_2	segunda mitad del tiempo	últimos 5 minutos
ConcProm4_1	primer cuarto del tiempo	los primeros 2.25 minutos
ConcProm4_2	segundo cuarto del tiempo	los segundos 2.25 minutos
ConcProm4_3	del tercer cuarto del tiempo	los terceros 2.25 minutos
ConcProm4_4	cuarto del tiempo de observación	últimos 2.25 minutos
...	...	...
...	...	...
ConcProm15_16	penúltimo dieciseisavo del tiempo	los penúltimos 37.5 segundos
ConcProm16_16	ultimo dieciseisavo del tiempo	últimos 37.5 segundos

Las variables de entrada (o variables independientes) son:



La variable de salida (o variable dependiente) es:



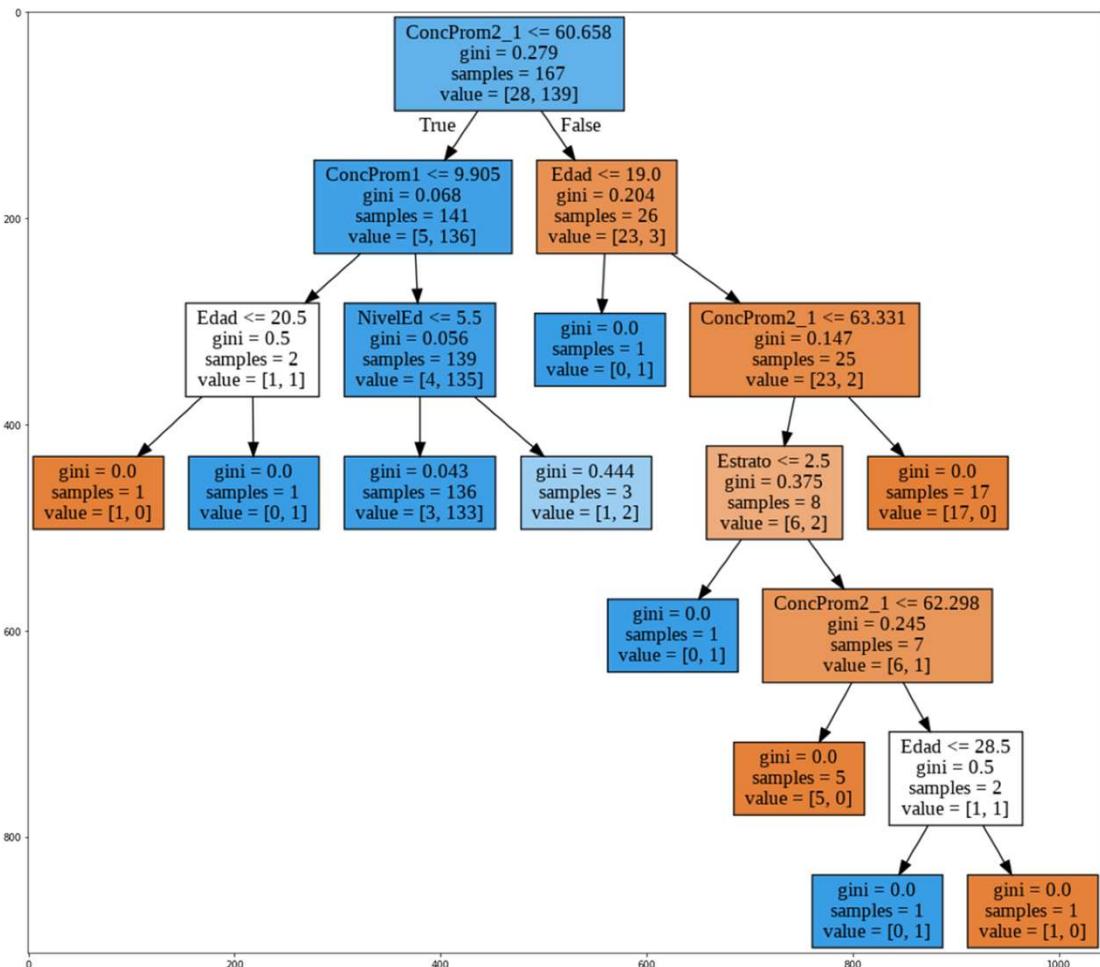
	<i>coeff b</i>	<i>s.e.</i>	<i>Wald</i>	<i>p-value</i>	<i>OR</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>
Intercept	26.78	6.75	15.75	<b>0.0001</b>	428,830,891,844.40		
Género	-0.23	1.37	0.03	0.8672	0.80	0.05	11.63
Estrato	-0.45	0.85	0.28	0.5938	0.64	0.12	3.34
Nivel educat	0.97	0.72	1.82	0.1774	2.64	0.64	10.82
Rango Etareo	-1.14	1.00	1.31	0.2516	0.32	0.04	2.25
conc. Norm.	-0.99	1.17	0.72	0.3963	0.37	0.04	3.68
Prom. 1/16	0.55	3.41	0.03	0.8715	1.73	0.00	1,374.11
Prom. 2/16	-2.83	3.61	0.61	0.4335	0.06	0.00	70.22
Prom. 3/16	-9.02	4.42	4.15	<b>0.0415</b>	0.0001	0.00	0.71
Prom. 4/16	-0.94	4.02	0.05	0.8158	0.39	0.00	1,033.52
Prom. 5/16	2.50	3.84	0.42	0.5150	12.14	0.01	22,335.12
Prom. 6/16	-3.95	4.83	0.76	0.4113	0.02	0.00	168.08
Prom. 7/16	-1.08	5.03	0.05	0.8295	0.34	0.00	6,471.70
Prom. 8/16	-0.58	5.50	0.01	0.9164	0.56	0.00	26,819.62
Prom. 9/16	-18.00	8.58	4.40	<b>0.0360</b>	0.00000002	0.00	0.31
Prom. 10/16	4.32	5.74	0.56	0.4524	74.88	0.00	5,798,775.30
Prom. 11/16	0.03	4.82	0.00	0.9952	1.03	0.00	13,146.01
Prom. 12/16	-3.95	4.61	0.73	0.3913	0.02	0.00	162.10
Prom. 13/16	-7.07	4.74	2.22	0.1362	0.00	0.00	9.28
Prom. 14/16	-1.97	4.62	0.18	0.6703	0.14	0.00	1,198.25
Prom. 15/16	2.03	4.37	0.22	0.6427	7.58	0.00	39,489.84
Prom. 16/16	-1.61	3.38	0.23	0.6325	0.20	0.00	148.55

Chi-Sq	112.39
p-value	7.187E-15
Hosmer	243.341
p-value	1.897E-05
Accuracy	0.970
AUC	0.974
Fisher Exact	3.07E-24
OR	570.833

$$p = \frac{1}{1 + e^{26.78 - 0.23x_1 - 0.45x_2 + 0.97x_3 - 1.14x_4 + 0.99x_5 + 0.55x_6 - 2.83x_7 - 9.02x_8 - 0.94x_9 + 2.5x_{10} + e^{-1.08x_{11} - 0.58x_{12} - 18x_{13} + 4.32x_{14} + 0.03x_{15} - 3.95x_{16} - 7.07x_{17} - 1.97x_{18} + 2.03x_{19} - 1.61x_{20}}}}$$

# Modelo de árboles de decisión

## Modelo construido con un árbol de decisión



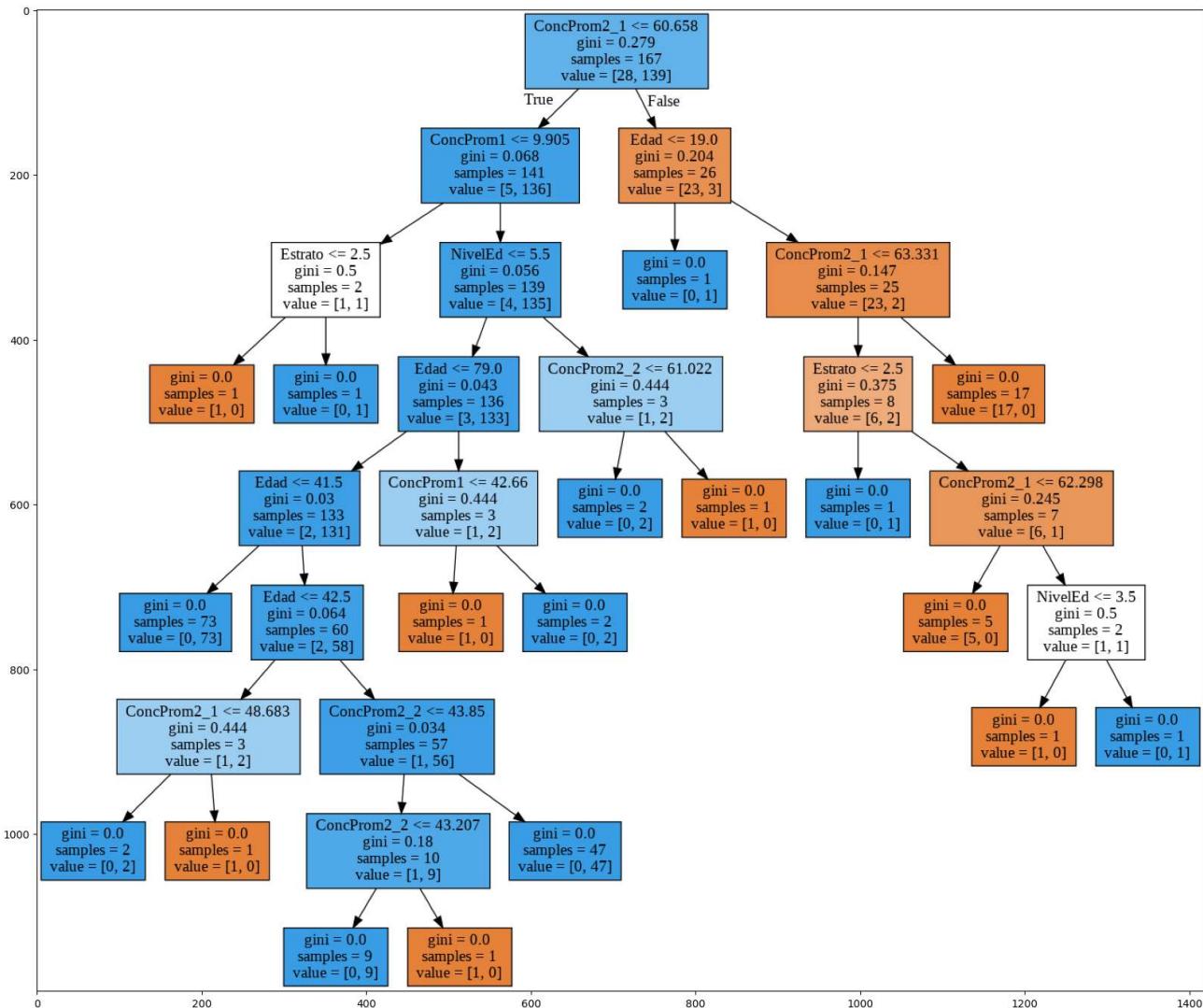
Árbol de decisión de 10 nodos

```

0.9760479041916168
confusion_matrix
[[ 24  4]
 [ 0 139]]
classification_report
precision    recall   f1-score   support
          0       1.00      0.86      0.92      28
          1       0.97      1.00      0.99     139
accuracy                           0.98      167
macro avg       0.99      0.93      0.95      167
weighted avg    0.98      0.98      0.98      167

cross_val5
[1.          0.88235294  0.93939394  0.96969697  0.87878788]
cross_val5.mean
0.9340463458110516
cross_val10
[1.          1.          0.94117647  0.94117647  0.88235294  1.
 1.          0.875      0.9375      0.875      ]
cross_val10.mean
0.9452205882352942

```



Árbol de decisión de 20 nodos

```

1.0
confusion_matrix
[[ 28  0]
 [ 0 139]]
classification_report
precision    recall   f1-score   support
          0       1.00     1.00     1.00      28
          1       1.00     1.00     1.00     139

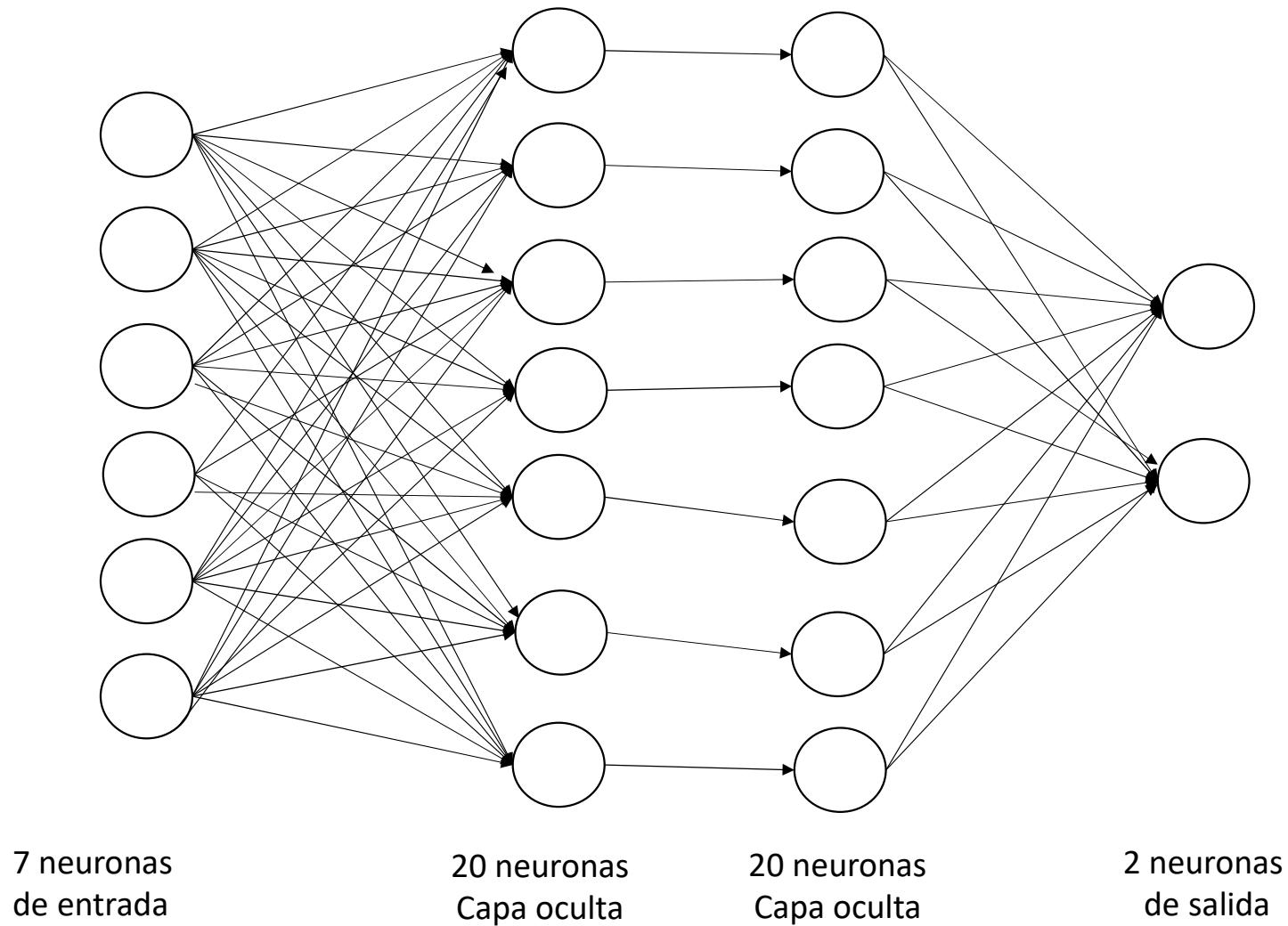
accuracy               1.00      167
macro avg      precision    1.00     1.00     1.00      167
weighted avg   precision    1.00     1.00     1.00      167

cross_val5
[0.91176471 0.94117647 0.90909091 0.84848485 0.87878788]
cross_val5.mean
0.8978609625668449
cross_val10
[0.88235294 0.94117647 0.94117647 0.94117647 0.82352941 1.
 0.94117647 0.875     0.9375     0.875     ]
cross_val10.mean
0.9158088235294117

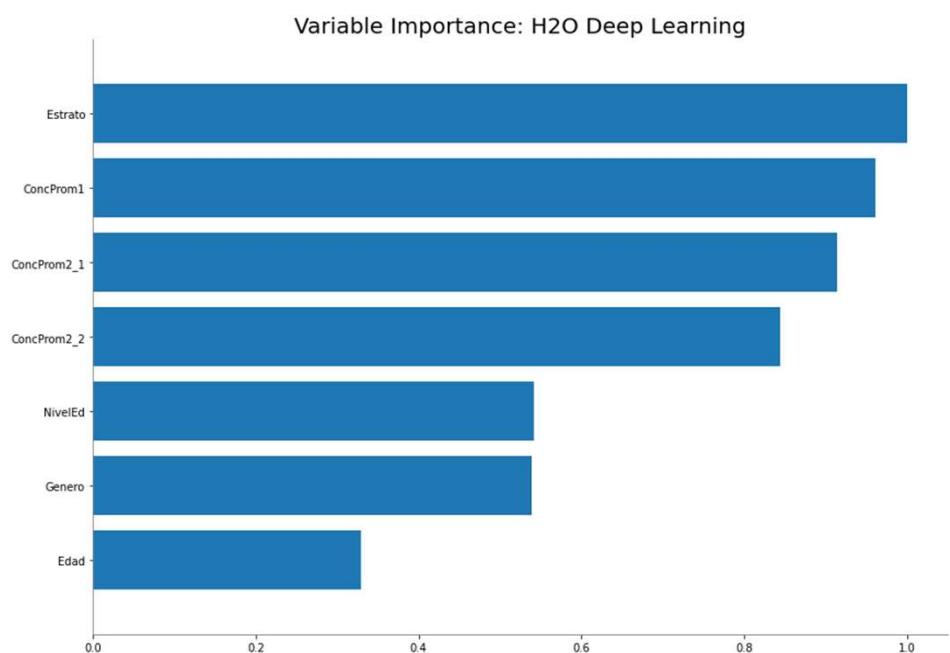
```

# Modelo de red neuronal

## Modelo construido con una red neuronal

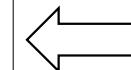


		0	1	Error	Rate
0	0	25.0	3.0	0.1071	(3.0/28.0)
1	1	0.0	139.0	0.0	(0.0/139.0)
2	Total	25.0	142.0	0.018	(3.0/167.0)



# Modelos obtenidos

Tipo de Modelo	Variables	Precisión
Regresión logística	Concentración	83%
Regresión logística	Concentración, grupo etáreo	83%
Regresión logística	Concentración normalizada, 16avos de concentración, genero, edad, estrato, nivel educativo	97%
Árbol de decisión	Concentración promedio genero, edad, estrato, nivel educativo	100%
Red neuronal	Concentración promedio genero, edad, estrato, nivel educativo	98.2%



Modelo de mejor desempeño

# Agenda



- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción  
de los modelos
- 5 Conclusiones
- 6 Productos

# Conclusiones

- La desconcentración aporta de manera importante en la predicción de la probabilidad de accidente de tránsito de los conductores, porque se observó que el efecto acumulado de los mensajes de texto que generaron desconcentración incide en la generación de accidentes.
- Los modelos elaborados muestran que son influenciados por la variable más importante que es la concentración.
- Se logró implementar exitosamente un modelo predictivo basado en Machine Learning.
- Se midió exitosamente el nivel de concentración que es uno de los más difíciles de medir en este tipo de experimentos.
- Se observó que al plantearse el modelo de comportamiento simple, las únicas variables que inciden son la edad, el grado de concentración de los conductores, obteniendo precisiones del modelo del 83 al 100%.
- El 70.1% del total de los participantes del género masculino estuvieron concentrados y el 26.9% desconcentrados , el género femenino, el 58.9% de las participantes estuvieron concentradas y 42.04% desconcentradas durante la ejecución del experimento.



# Conclusiones

- El factor que no está contemplado en el estudio del comportamiento y que es el más importante y más difícil de estudiar es el nivel de concentración, el cual ha sido medido y analizado en esta investigación doctoral.
- El mejor modelo obtenido es un árbol decisión de 20 nodos con una precisión de predicción (accuracy) del 100% y cuya generalización es de 90% y 91% medida con validaciones cruzadas x5 y x10, en este modelos las dos variables más importante es la concentración promedio.
- Se probaron múltiples modelos predictivos obtenido usando AutoML (regresión logística, GLM binarios, GBM, redes neuronales y Decission tree).
- 1.18 es la constante modal y 1.05 es el parámetro que acompaña la concentración. 1.18 representa todo lo que no es observable ni medible. Explica concentración o desconcentración en conductores y que generan accidentes al momento de ir conduciendo.
- Este tipo de tecnología se podría instalar en los vehículos de manera muy económica con un chip que permita medir la concentración de conductores.



# Trabajo futuro

- Evaluación con grupos estratificados definidos
- Estudios en diferentes escenarios
- Magnitudes de accidentes para aplicaciones en compañías de seguros
- Consideración de otros factores distractores
- Análisis del efecto de sustancias controladas en el comportamiento
- Análisis de datos obtenidos después de la mitad del tiempo del experimento.

# Aplicaciones en la industria

Las aseguradoras están implementando acelerómetros y sensores en los vehículos, para obtener información relacionada a los conductores y de esta manera cobrar las primas de acuerdo al riesgo del conductor.

Se hizo presentación al grupo Bolívar para poder implementar esta investigación en el análisis de expedición de pólizas de seguros, disminuyendo significativamente los costos de obtención y procesamiento de la información que utilizan en la actualidad.

Se hizo presentación al grupo ISA S.A. En una convocatoria de un Startup llamado "Reducción de los riesgos de accidentes que causan demoras y sobrecostos en obras civiles"

Asesor del DANE, Experto temático "fallecidos en siniestros viales" - Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV)

# Agenda



- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción  
de los modelos
- 5 Conclusiones
- 6 Productos

# Publicaciones

Tendencias de fatalidades por accidentes de tránsito y su análisis en el periodo 2011-2015 en Colombia, Congreso Nacional de Transporte y Tránsito, Uniandes 2017.

Análisis de las fatalidades por accidentes de tránsito en Colombia acontecidos en el período 2011-2015, Revista Redes de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, VOL. 8, NÚM. 1 (2017) . Q3

Uso de la inteligencia artificial para el análisis del comportamiento de conductores y la generación de choques de tránsito, Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura, 2021. Volumen 19-20 Número 1. Q2.

Use of artificial intelligence for analysis and crash accident generation, Accident Analysis and Prevention (2021). Q1, under review.

Use of artificial intelligence for driver's behavior, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research (2021) Q2, under review.

Toda la información de la presente investigación se encuentra guardada en un Github para ser usada en futuras investigaciones

# Congresos

- Modelo de comportamiento de conductores y la generación de accidentes de tránsito, 4o Coloquio Doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. 2016.
- Segundo encuentro internacional de ciencia, innovación y tecnología de la Escuela de Infantería, Centro de Educación Militar y la escuela de Infantería del Ejército Nacional de Colombia, 5, 6 y 7 de Noviembre de 2019.
- XI Congreso Virtual en Ciencias y tecnología, retos de la agenda 2030 a la producción del conocimiento, Universidad Santo Tomás, 1 y 2 de Noviembre de 2019.
- Simposio Internacional en Ingeniería Civil, Fundación Universitaria Agrícola de Colombia Uniagraria, 21 de mayo de 2019.
- Simposio Internacional en Ingeniería Civil, Fundación Universitaria Agrícola de Colombia Uniagraria, 2020.
- II Seminario Internacional de Seguridad Vial y Seguridad y Salud en el Trabajo. "Efectos del Covid-19 en la Seguridad Vial y la Productividad Empresarial; perspectiva Social Económica y Ambiental" junio 2020
- Avances de investigación en Ingeniería, Acofi 15 de septiembre de 2020
- Seguridad vial y comportamiento humano, Foro Nacional de la Bicicleta, 22 de septiembre de 2020
- VIII congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Tunja, Mayo de 2021

“La ciencia se compone de errores, que a su vez son los pasos hacia la verdad”

Jules Verne

GRACIAS

