

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

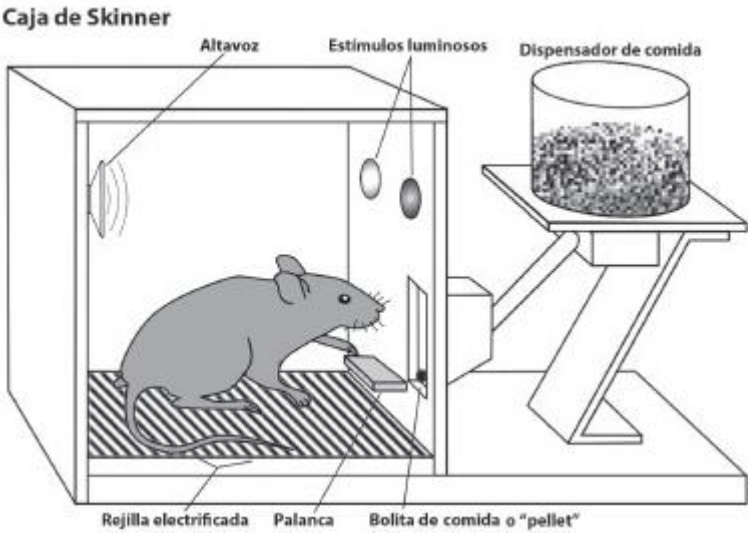


- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción de los modelos
- 5 Conclusiones
- 6 Productos

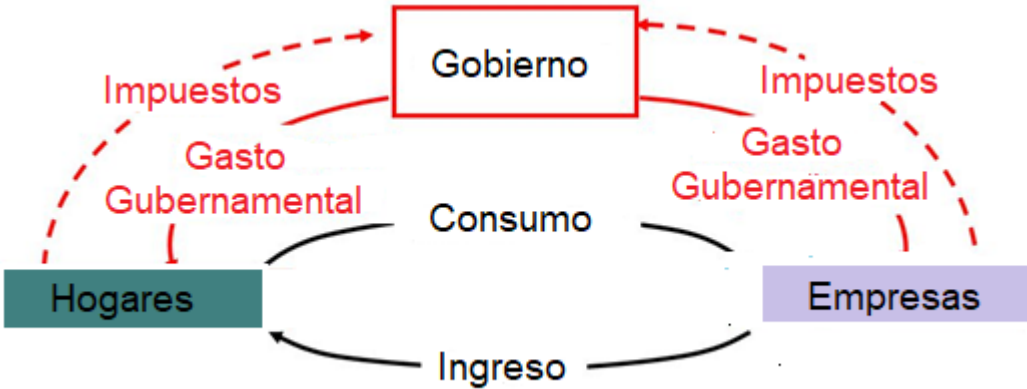
1. Introducción

- 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

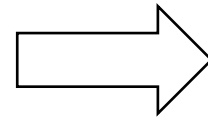
Tipos de modelos de comportamiento

- 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

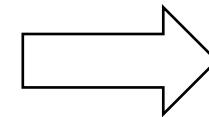
Modelos de comportamiento de conductores según su aplicación

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



**Proceso de
decisión de
Márkov**

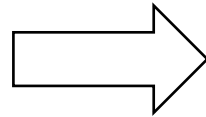


Secuencia optima de
decisiones para ir
del origen al destino

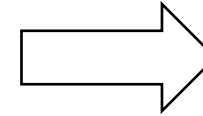


Modelos Actuariales – cálculo de riesgos/primas de seguros

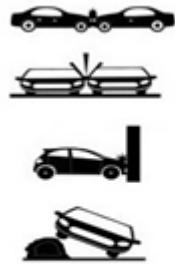
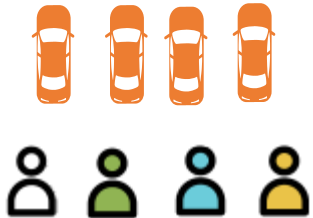
- Variables demográficas
- Comportamiento histórico
 - Infracciones
 - Accidentes
 - Reclamaciones
- Estadísticas poblacionales
- Registros (cámaras, sensores, cajas negras, etc.)



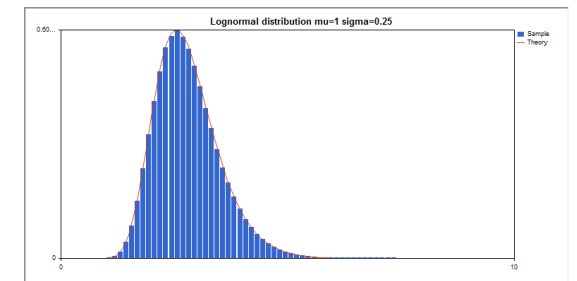
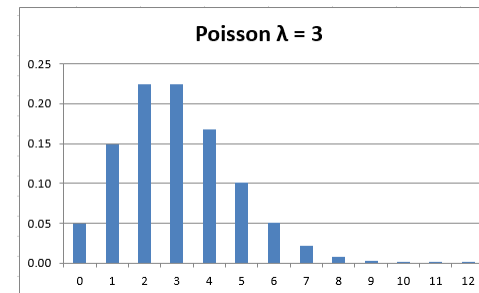
Modelos estadísticos



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

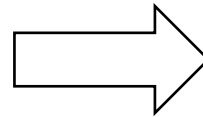


Incidentes
Accidentes

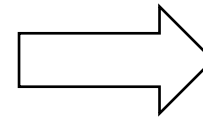


Seguridad vial – reducción de la accidentalidad

- 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**

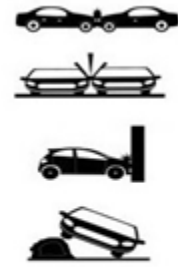


Ajustes al sistema
para reducir la
accidentalidad



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.)



Incidentes
Accidentes



**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

Wählberg (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)**

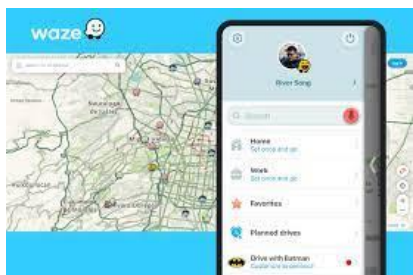
Monitoreo de
comportamiento
por teléfonos
inteligentes

2015 **Ellison et al.
(Australia)**

Perfiles de
comportamiento
Seguridad vial

2015 **Papantoniou
(Grecia)**

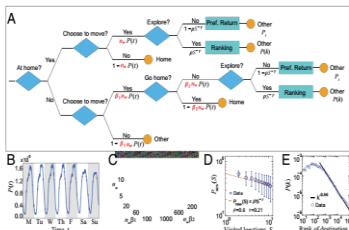
Comportamiento y
probabilidad de
accidentes



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
Tsiotras (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

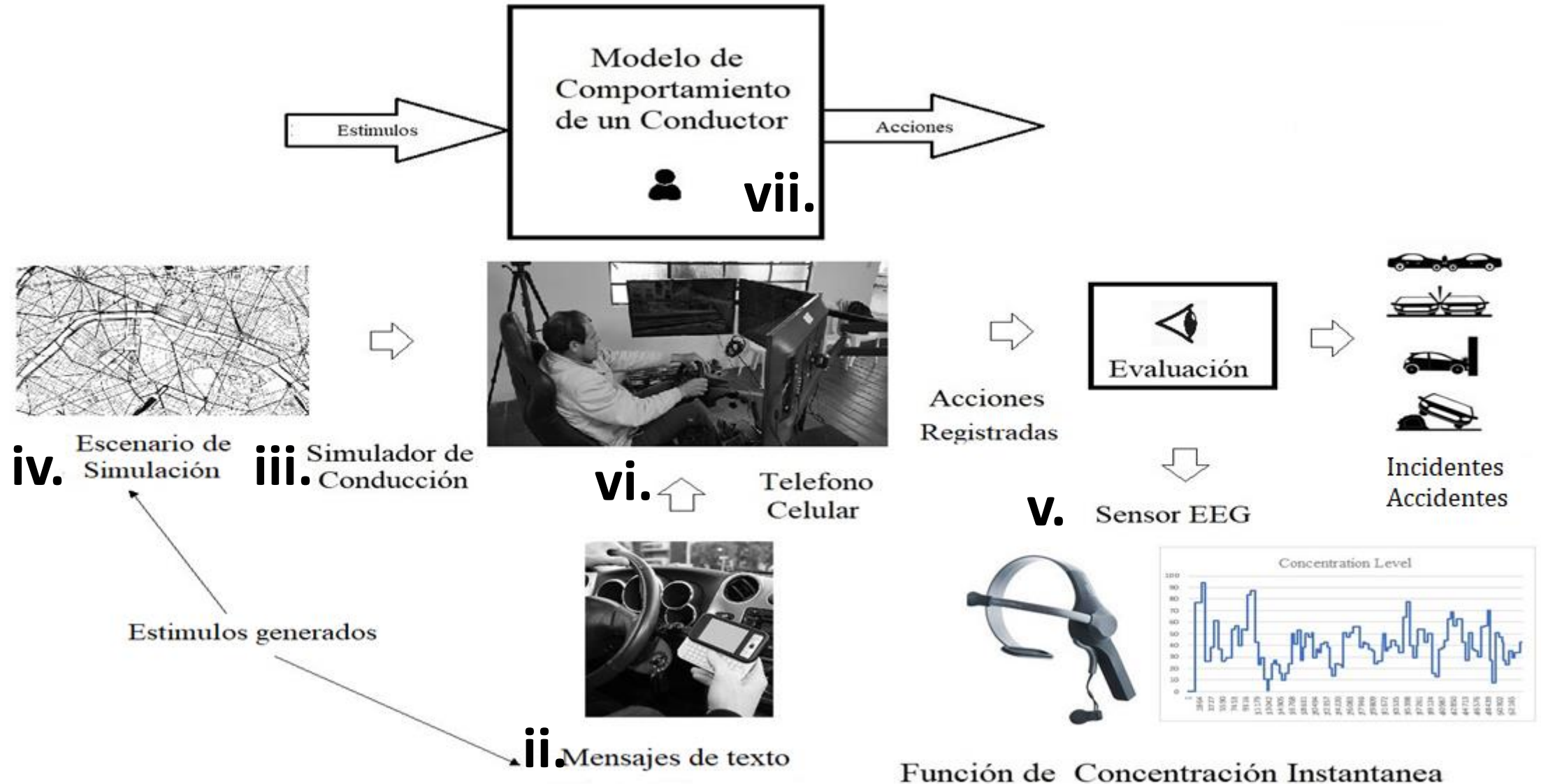


- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Desarrollo metodológico
- 4 Resultados y construcción de los modelos
- 5 Conclusiones
- 6 Productos

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



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 psicotrópicas
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

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



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 rojo	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



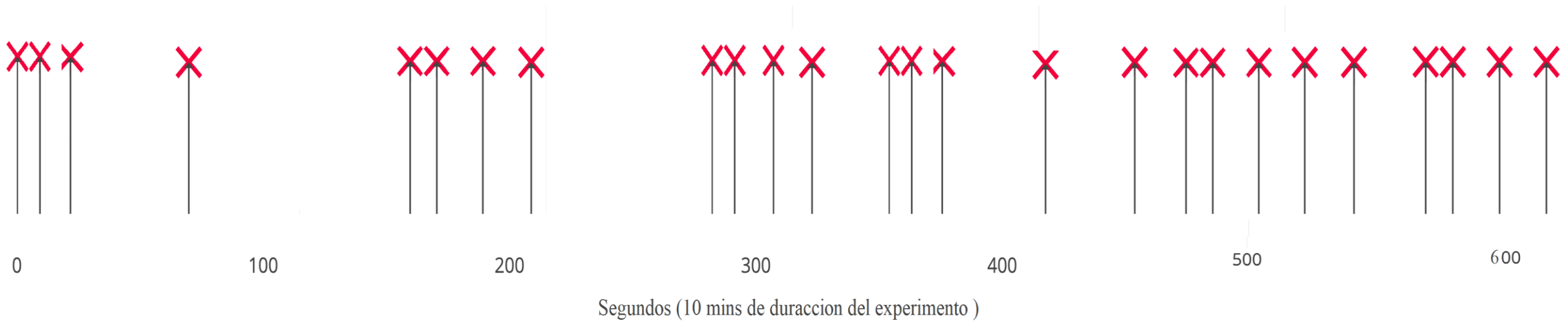
- Escenario exigente (10 minutos de conducción por participantes, cinetosis)
- Escenario 6:00 PM a 7:00 PM
- Entorno urbano con tráfico de hora pico
- Simulación de ir dentro del vehículo ($< 135^\circ$)
- Personas y animales en la vía
- Complejidad de la geometría de las vías (reducción de carril , rotondas, etc)
- Tráfico mixto
- Tipos o eventos que ocurren en el escenario



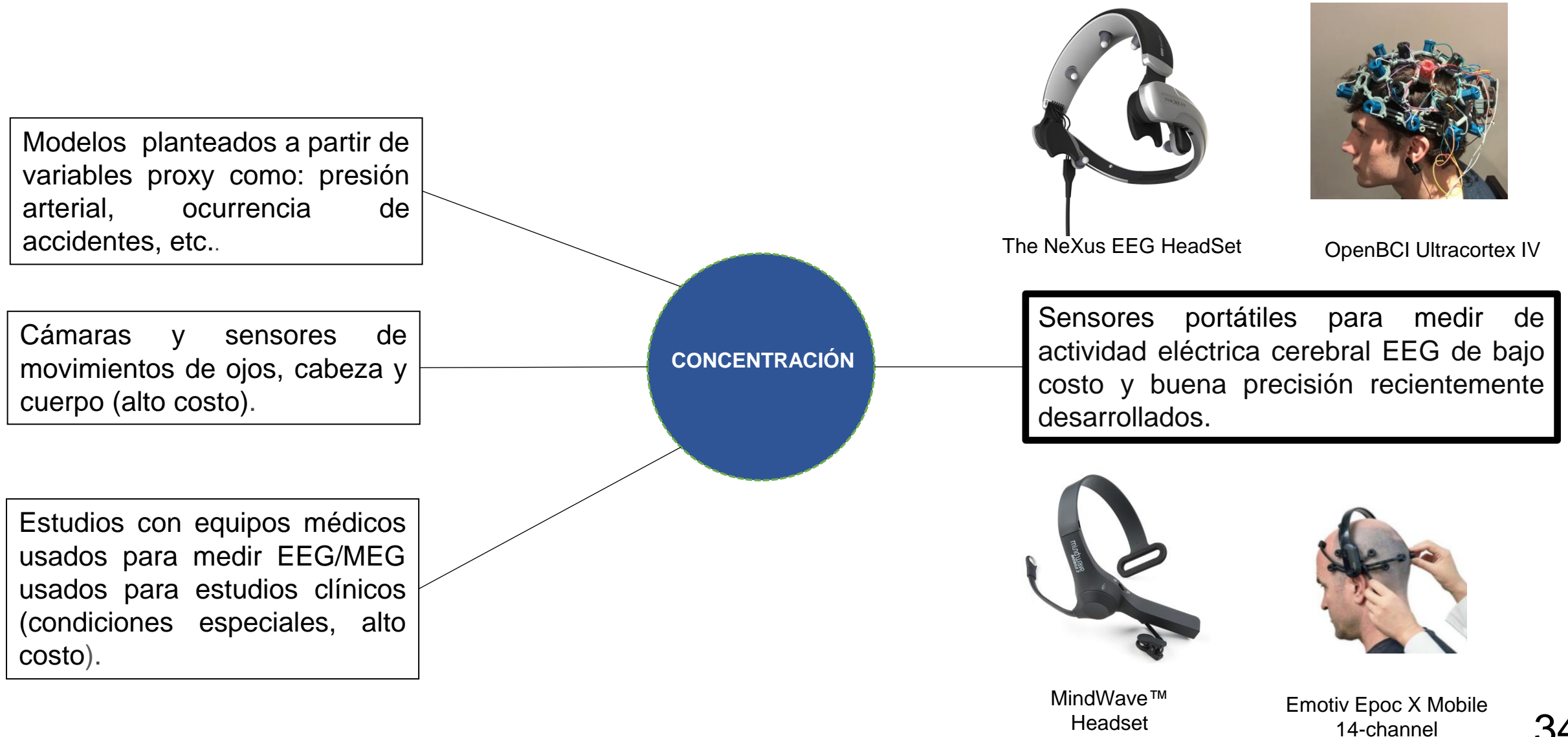
<https://www.fahrsimulatoren.eu/en/light-vehicle>











Generación de mensajes de texto

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

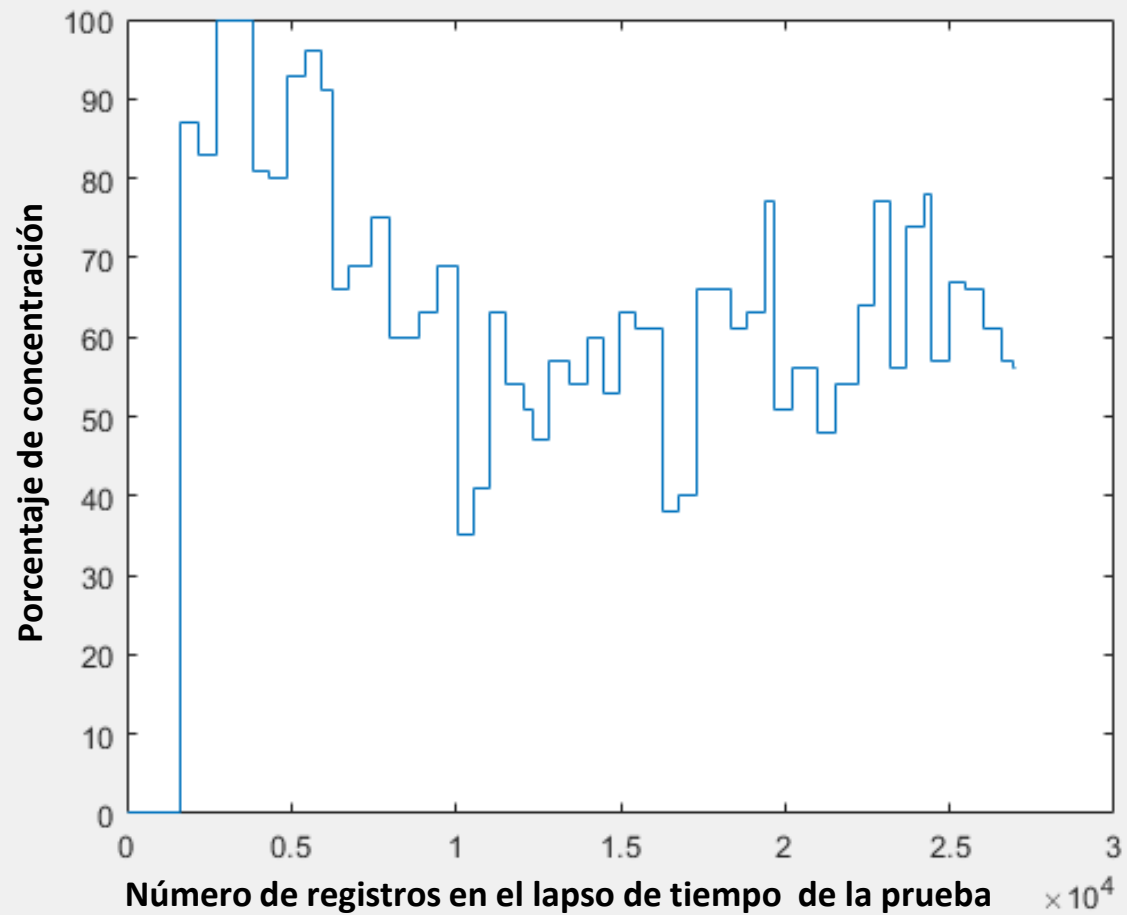


v. Selección y configuración del sensor de actividad eléctrica cerebral EEG para medir concentración

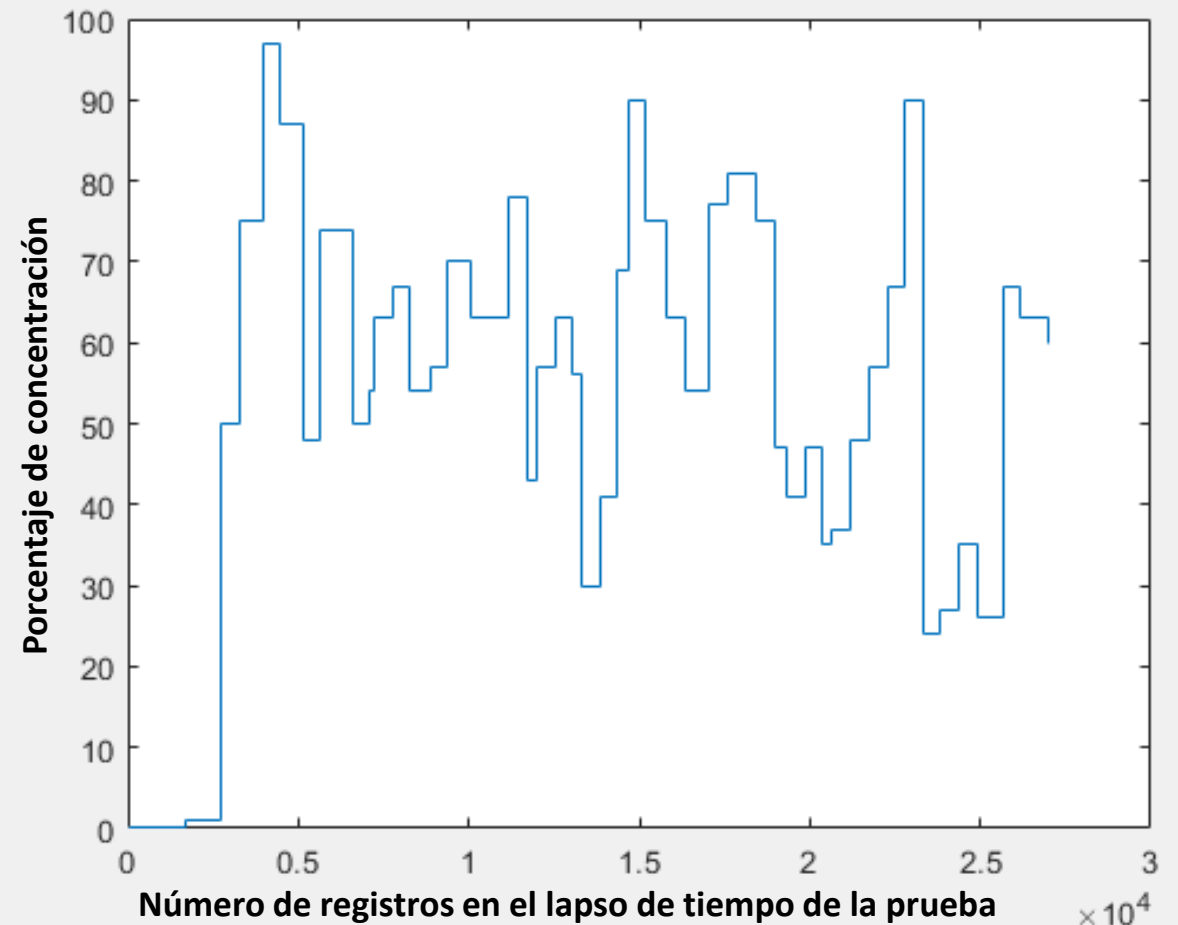


<i>Bandas</i>	<i>Rastreo/ Símbolo</i>	<i>Frecuencia Hz</i>	<i>Estado Fisiológico</i>
Delta  Niño Posterior Delante Adulto	δ 	1-4 Hz	-Infancia -Enfermedad cerebral -Sueño profundo
Theta  Difusa en la corteza	θ 	5-7 Hz	-Sueno -Especialmente durante la infancia -El estrés emocional -En tareas de alta concentración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





Grado de concentración sujeto 10

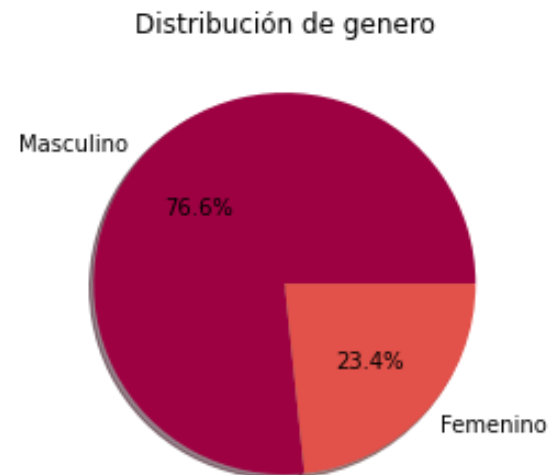


Grado de concentración sujeto 80

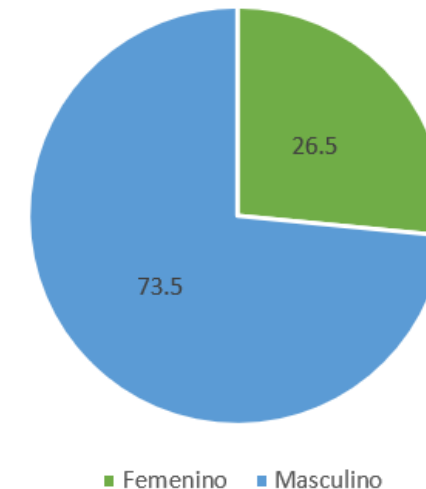
vi. Obtención del grupo de participantes

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

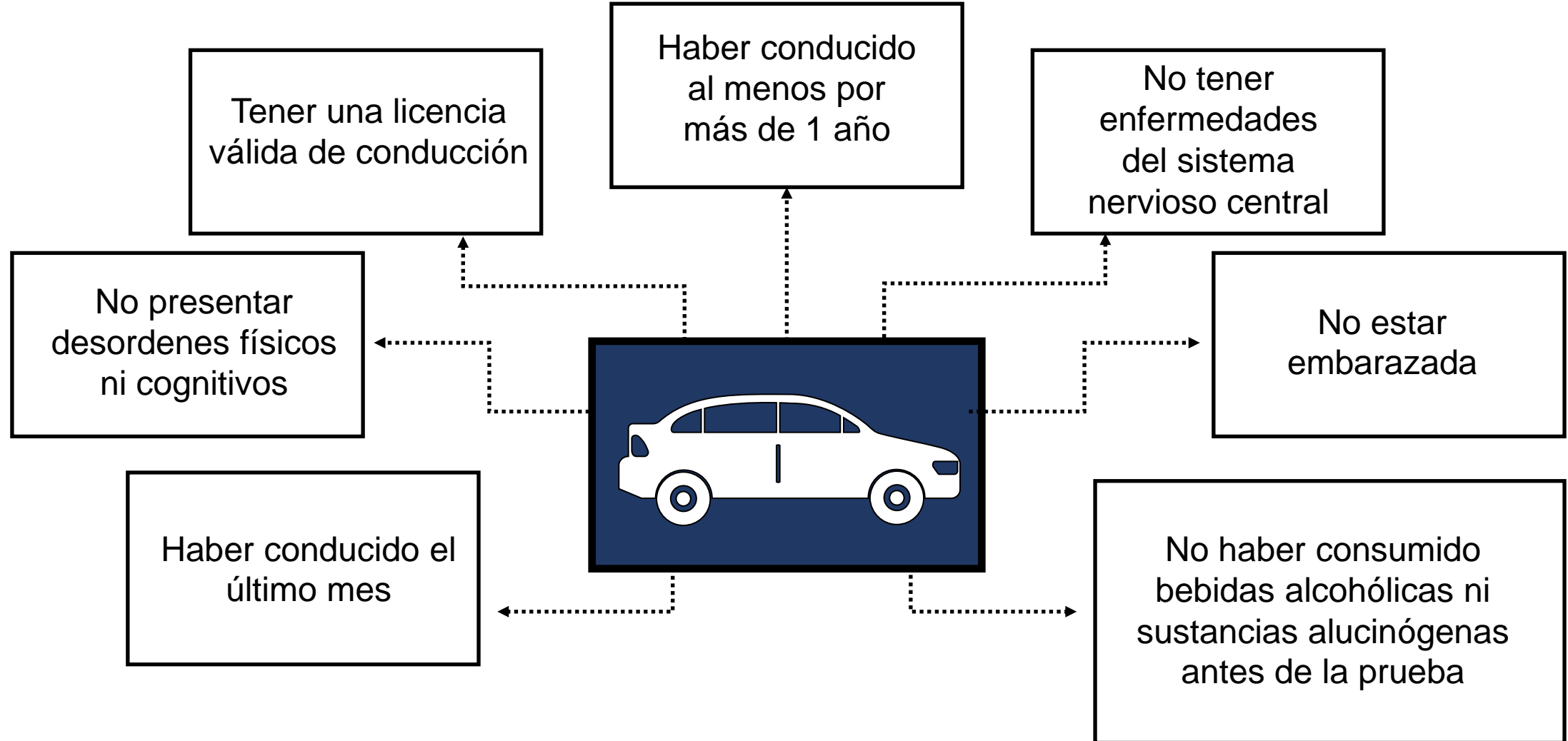


<https://www.runt.com.co/runt-en-cifras>



Criterios de exclusión

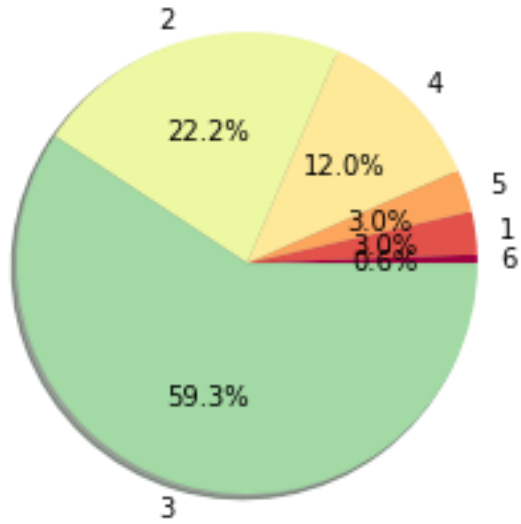
La muestra poblacional que participó en esta investigación doctoral cumplió ciertos criterios básicos, los cuales se presentan a continuación:



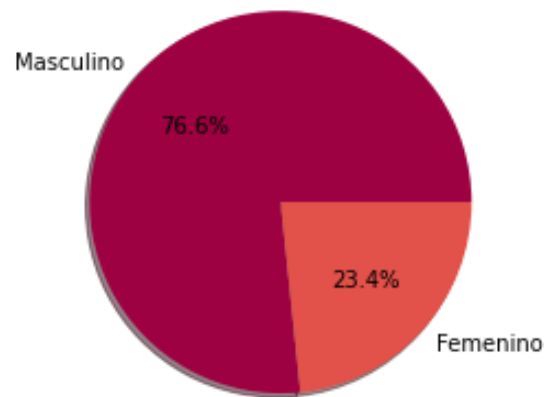
Datos obtenidos

- 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

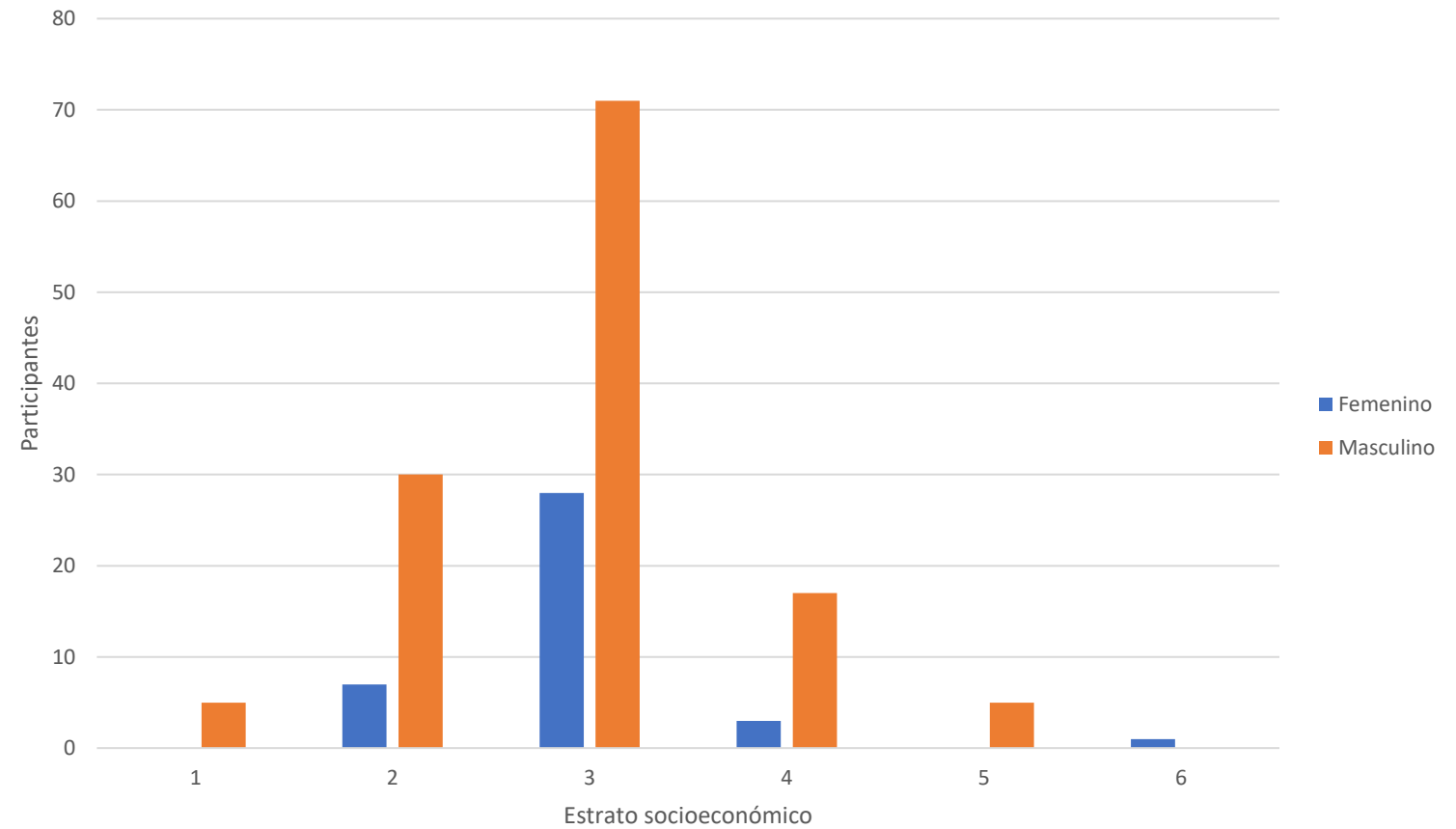
Distribución de estratos



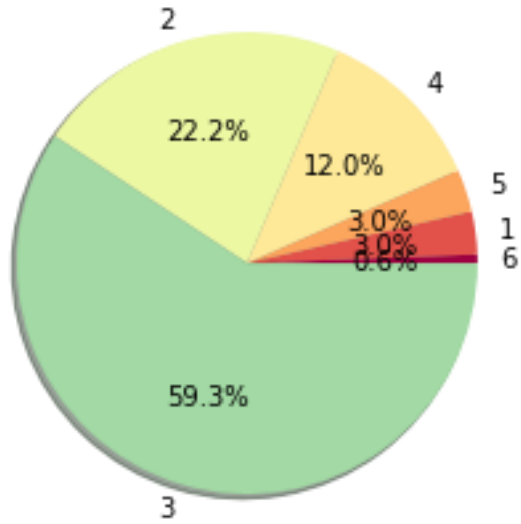
Distribución de genero



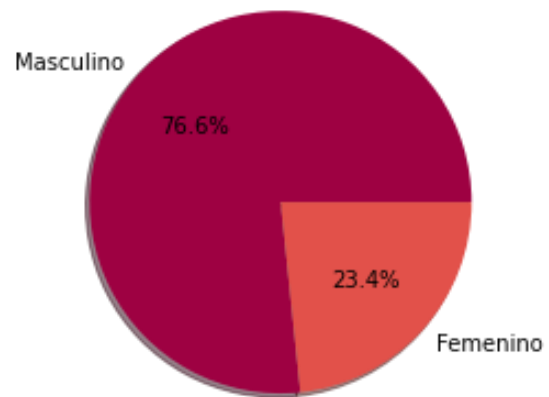
Distribución de participantes por estrato socioeconómico



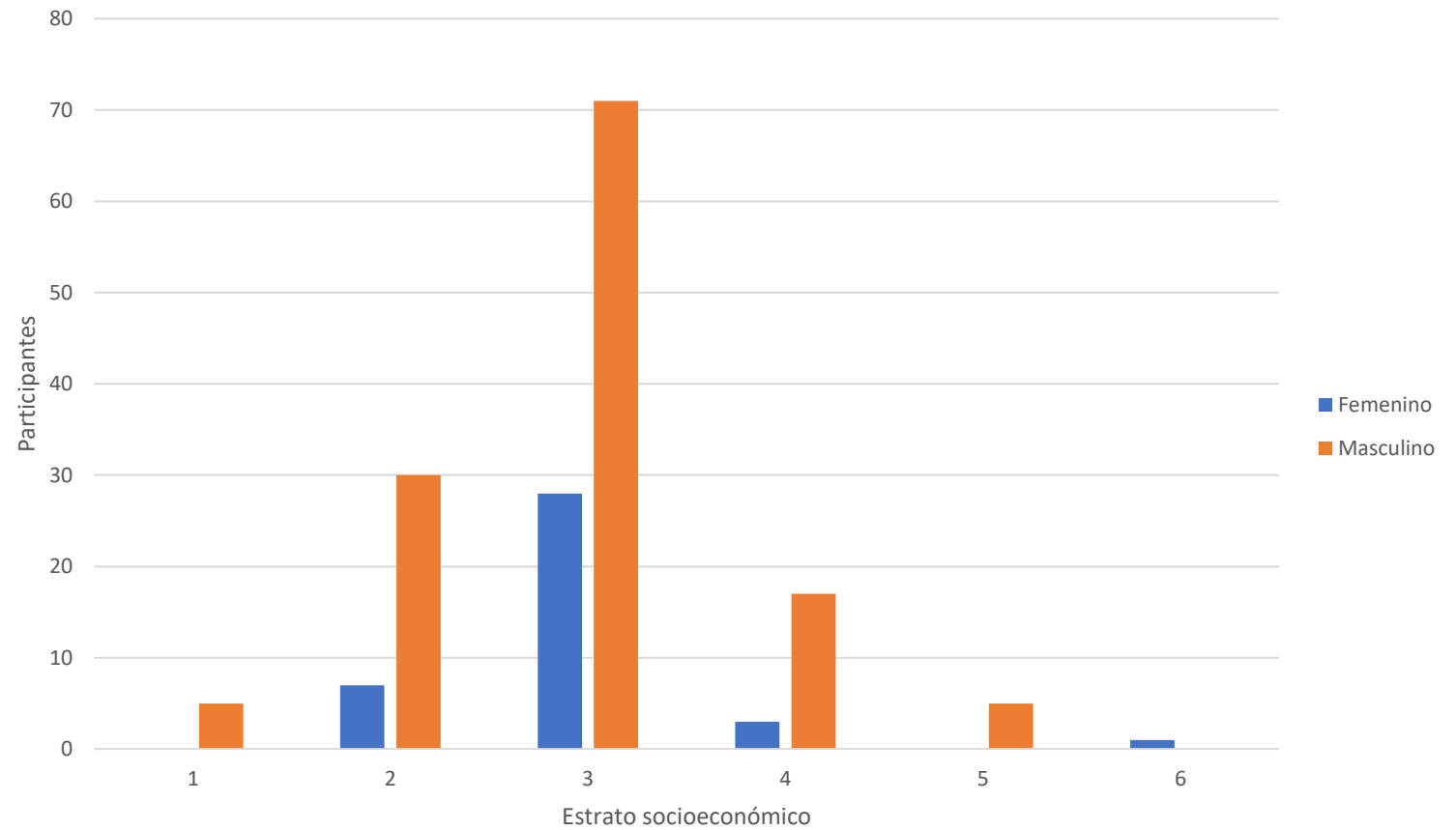
Distribución de estratos



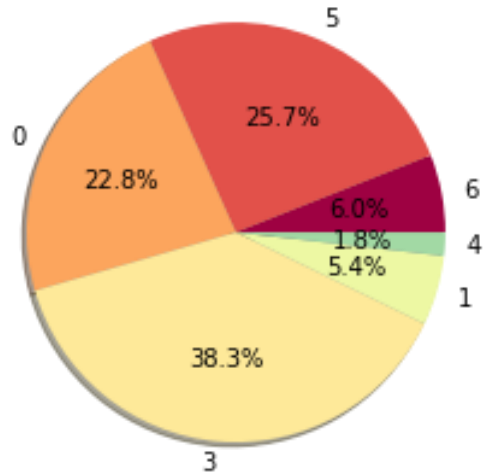
Distribución de genero



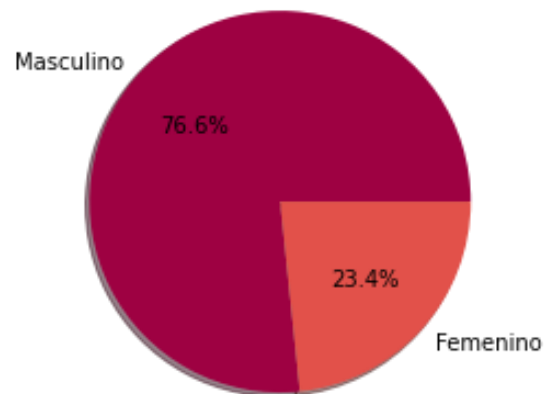
Distribución de participantes por estrato socioeconómico



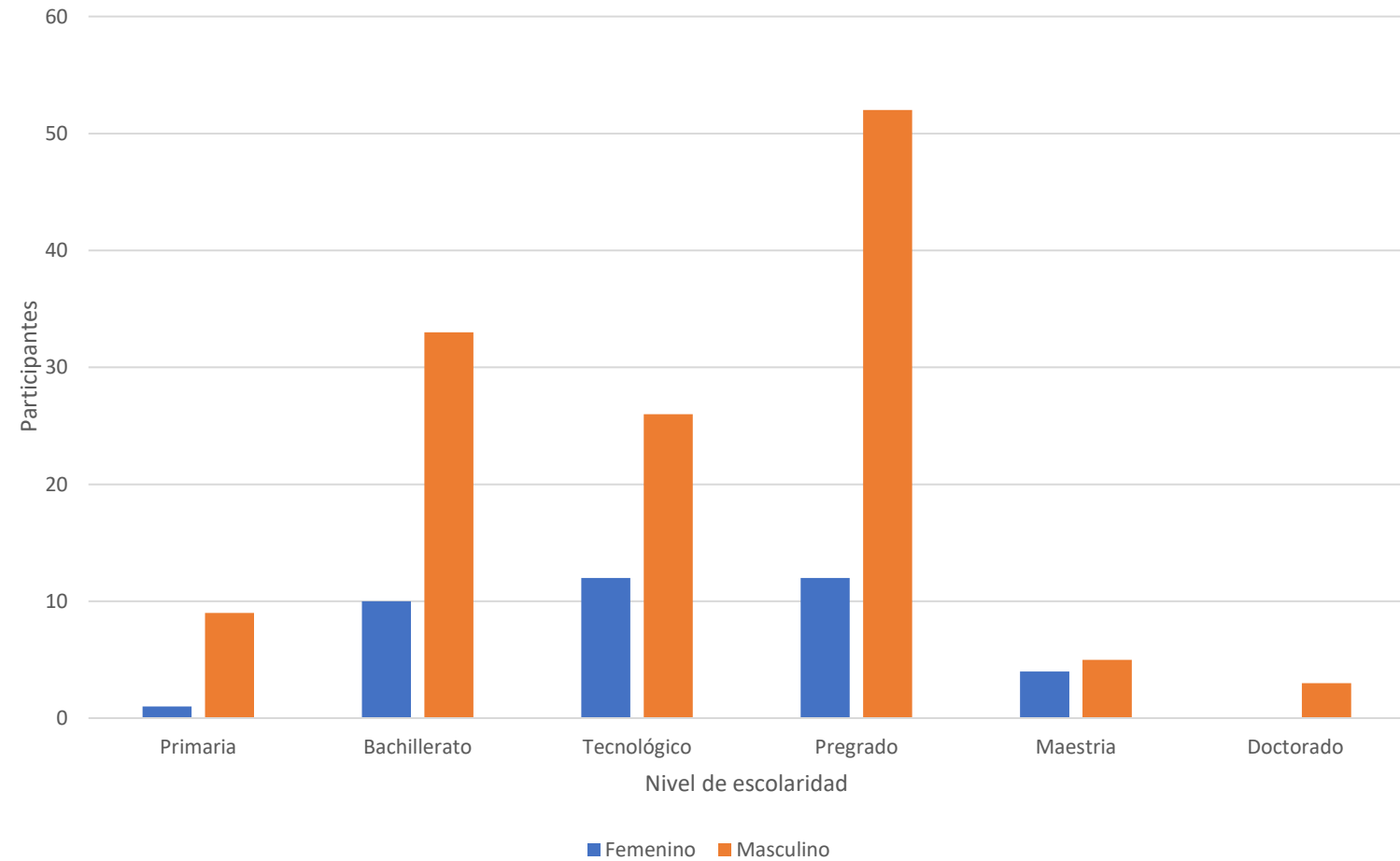
Distribución de NivelEd

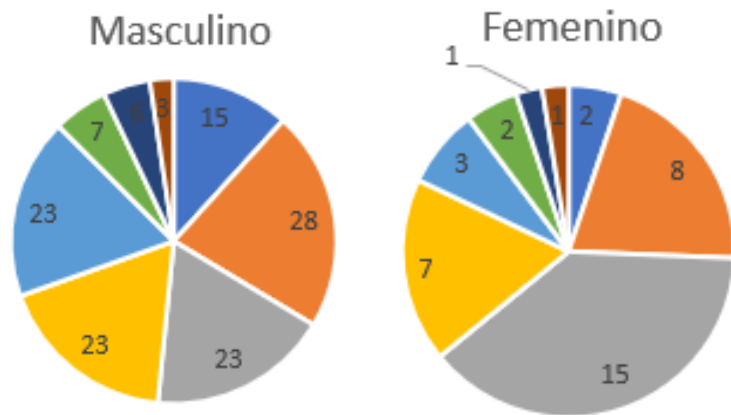


Distribución de genero

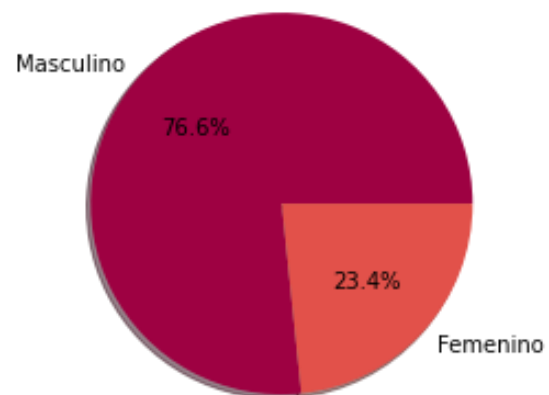


Distribución de participantes por nivel de escolaridad

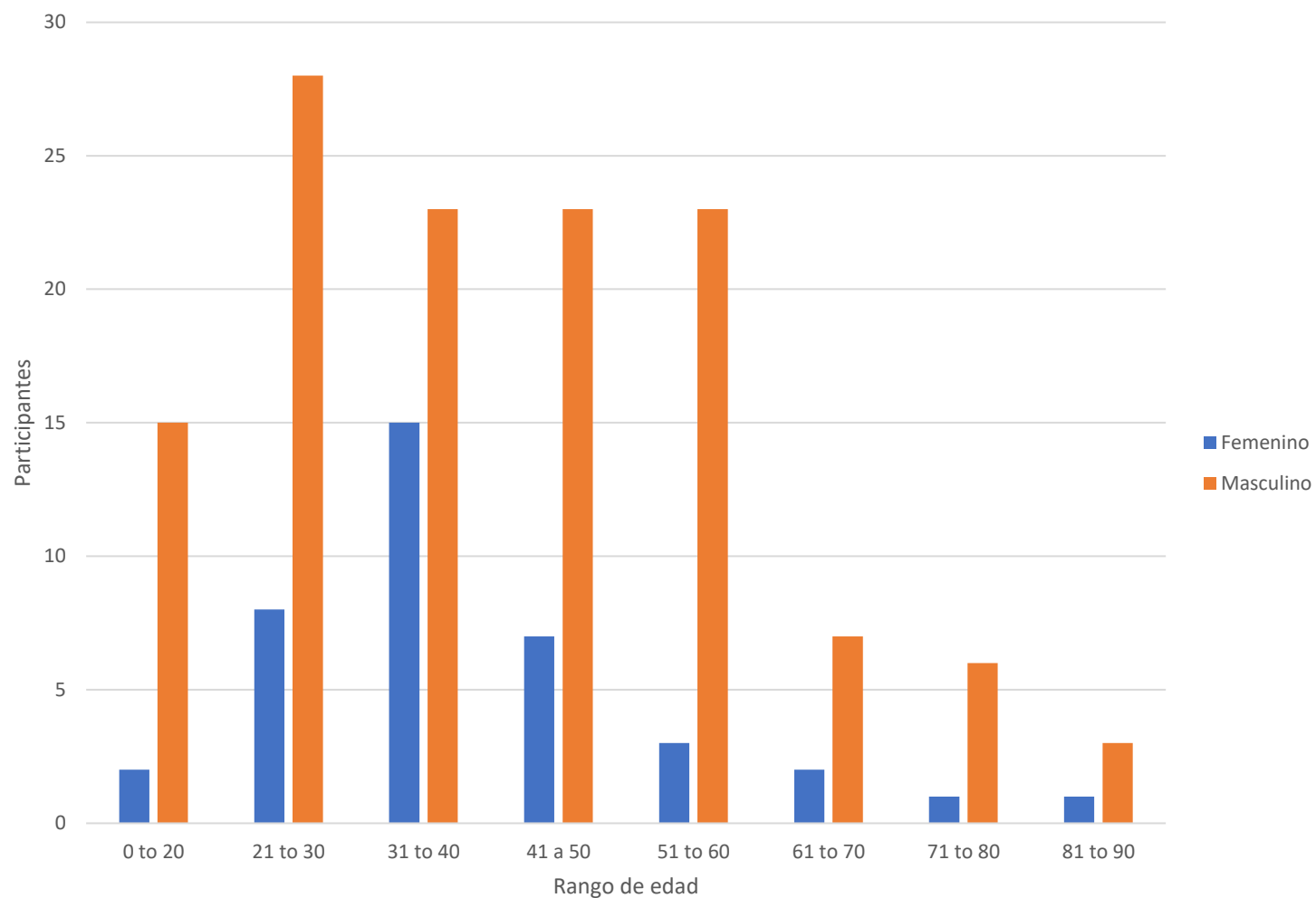




Distribución de genero



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 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,

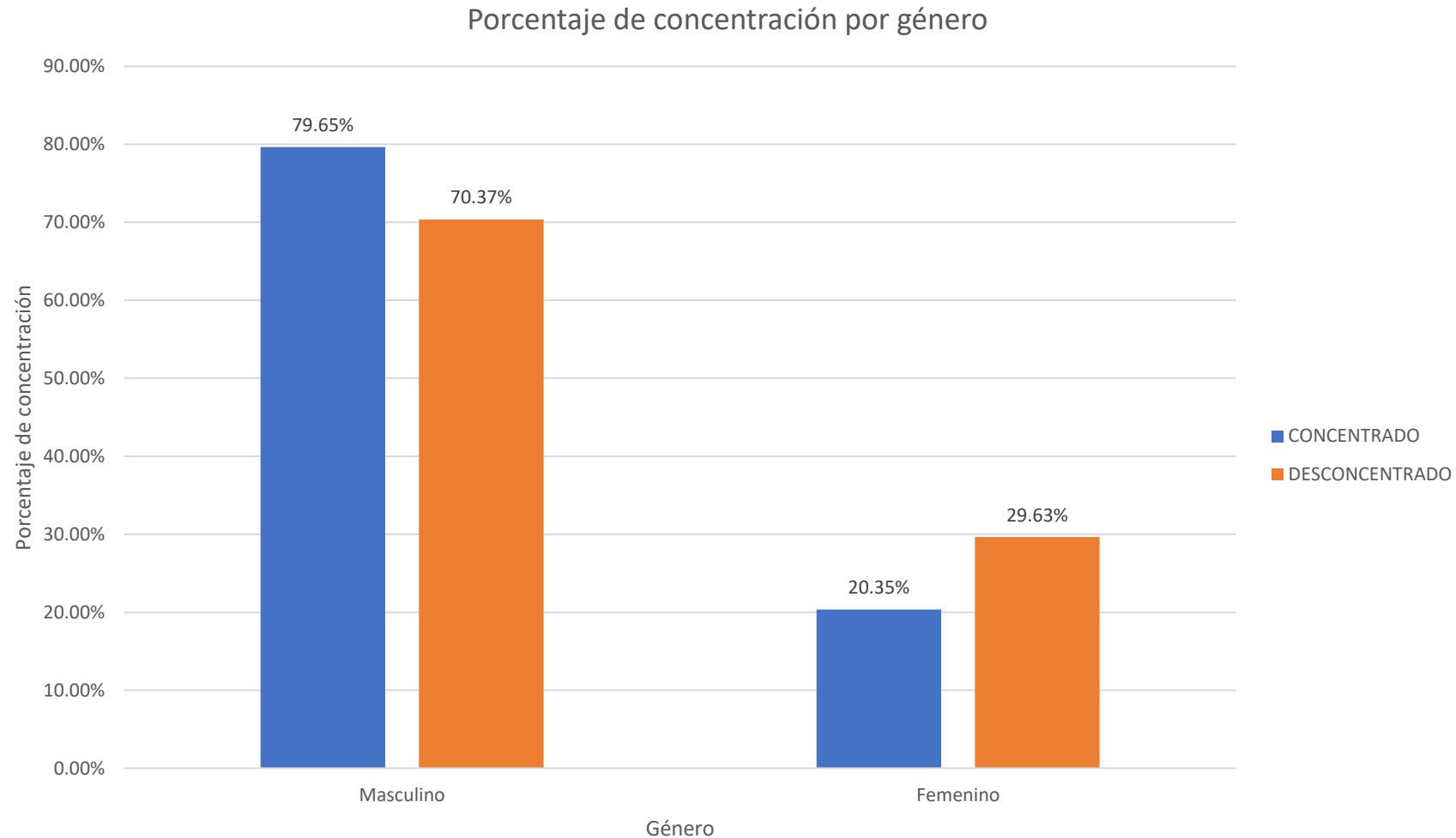
OTORGA su consentimiento para la participación del / la citado/a en la actual investigación



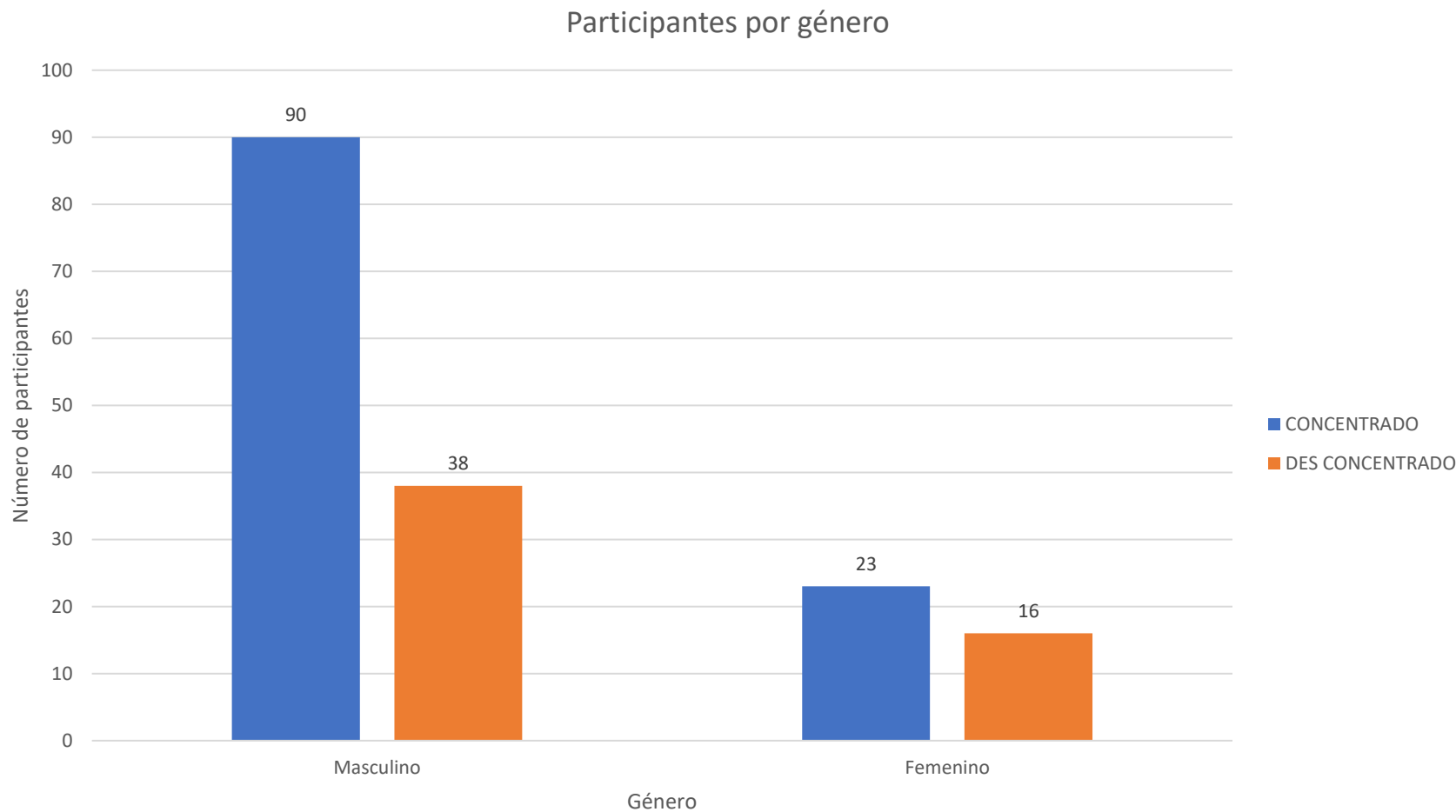


Análisis exporatorio de los resultados

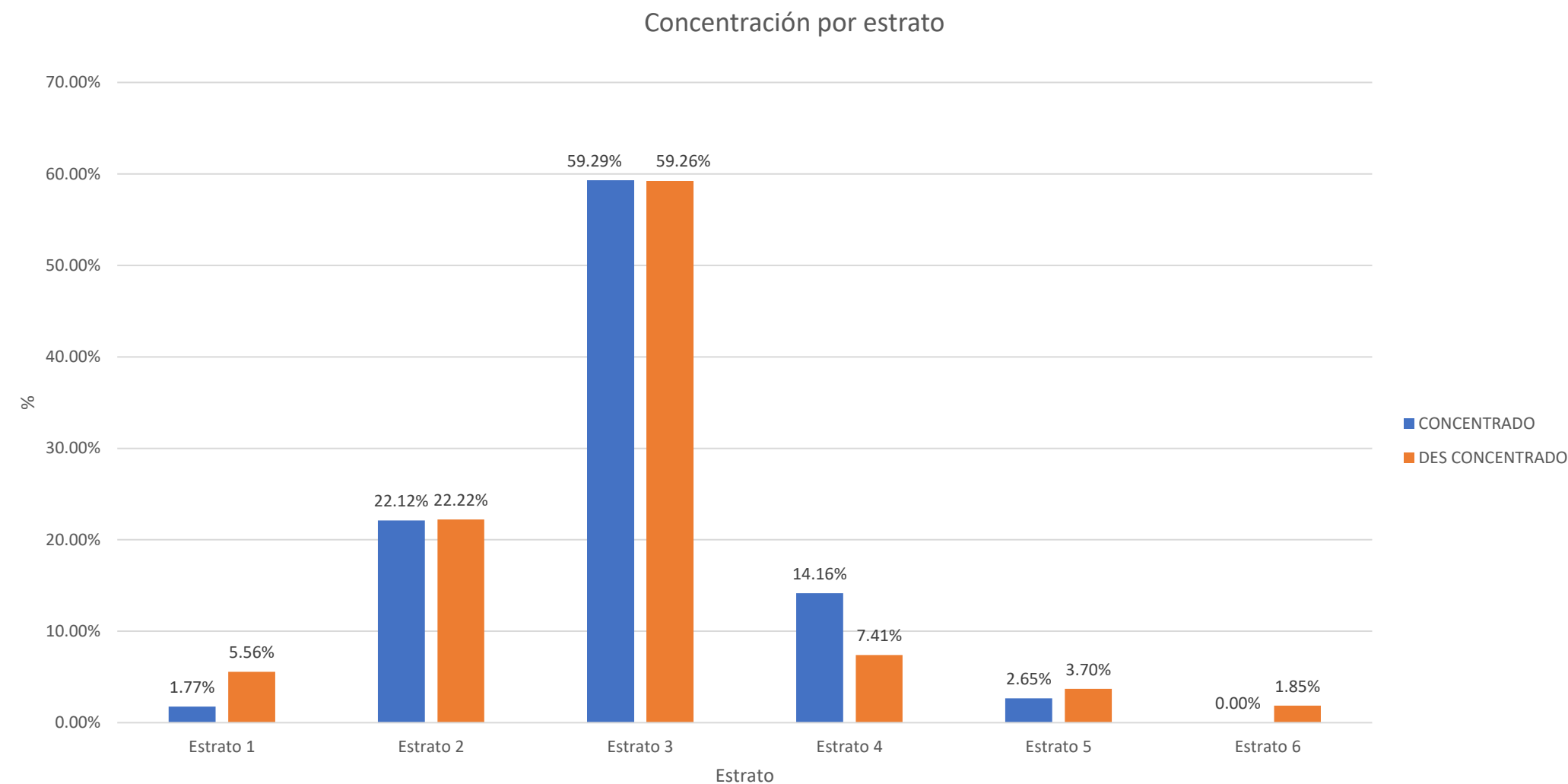
Hallazgos



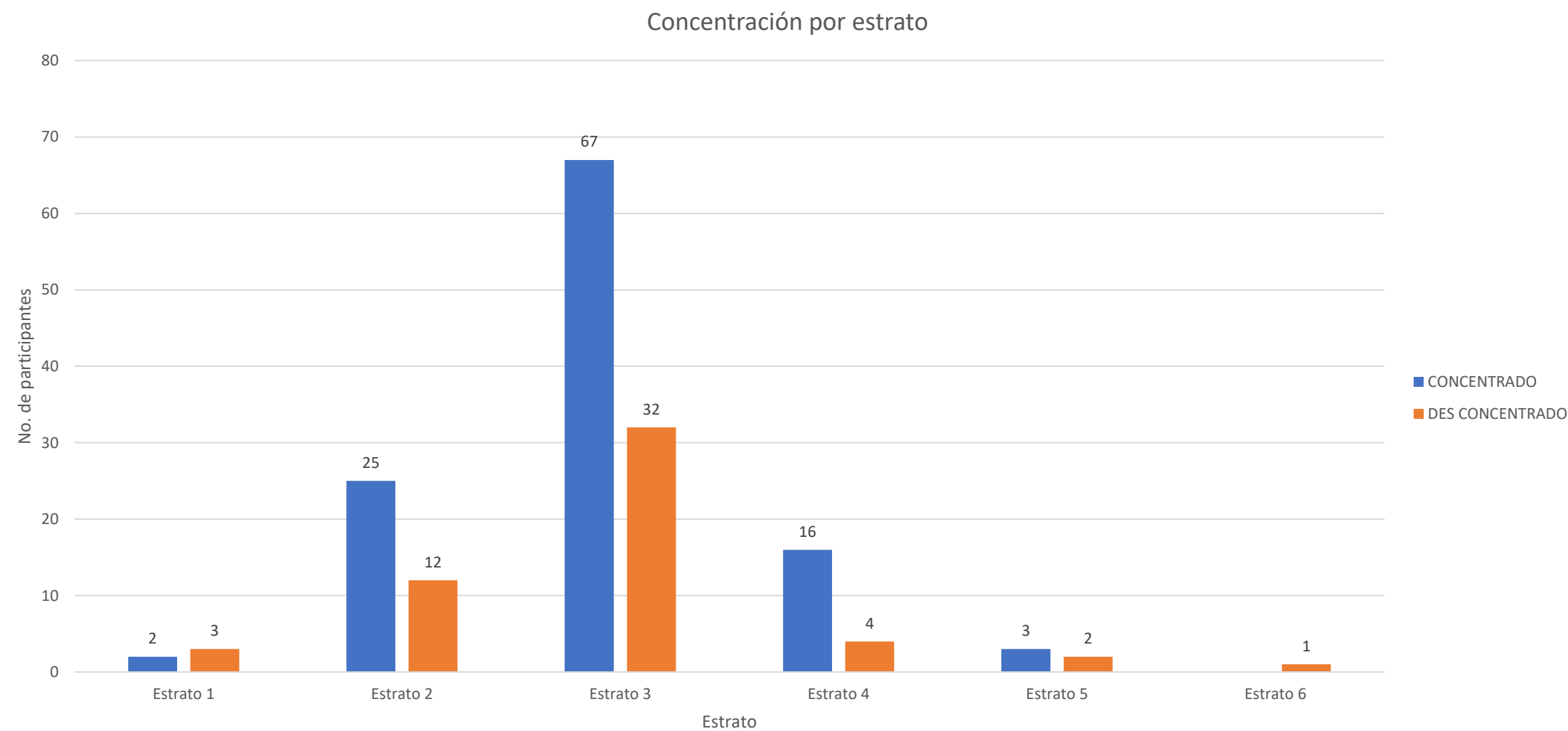
Hallazgos



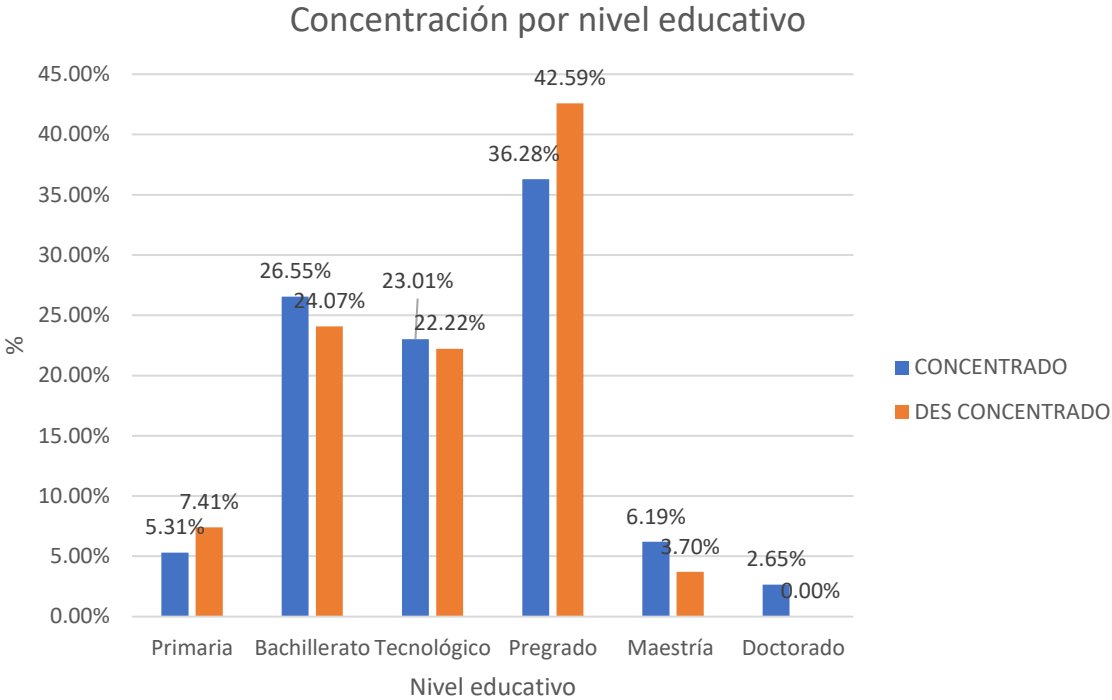
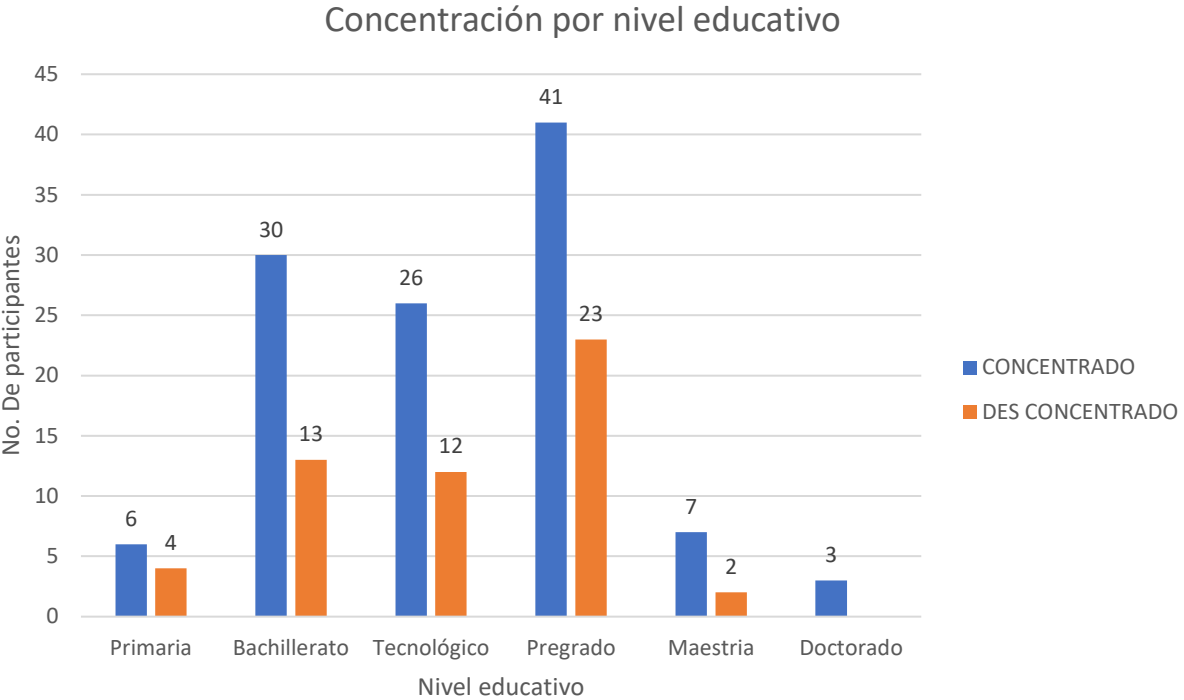
Hallazgos



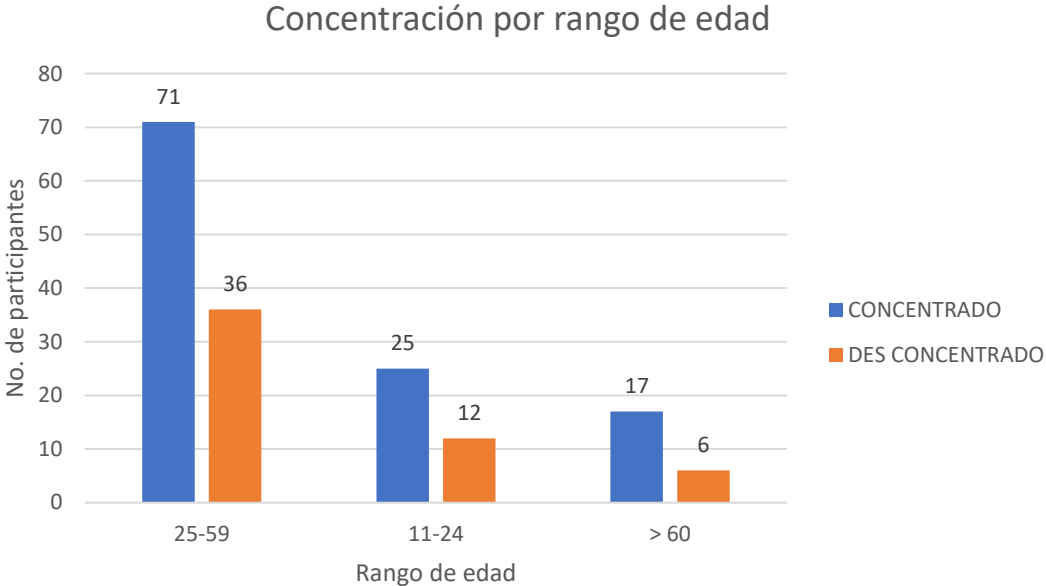
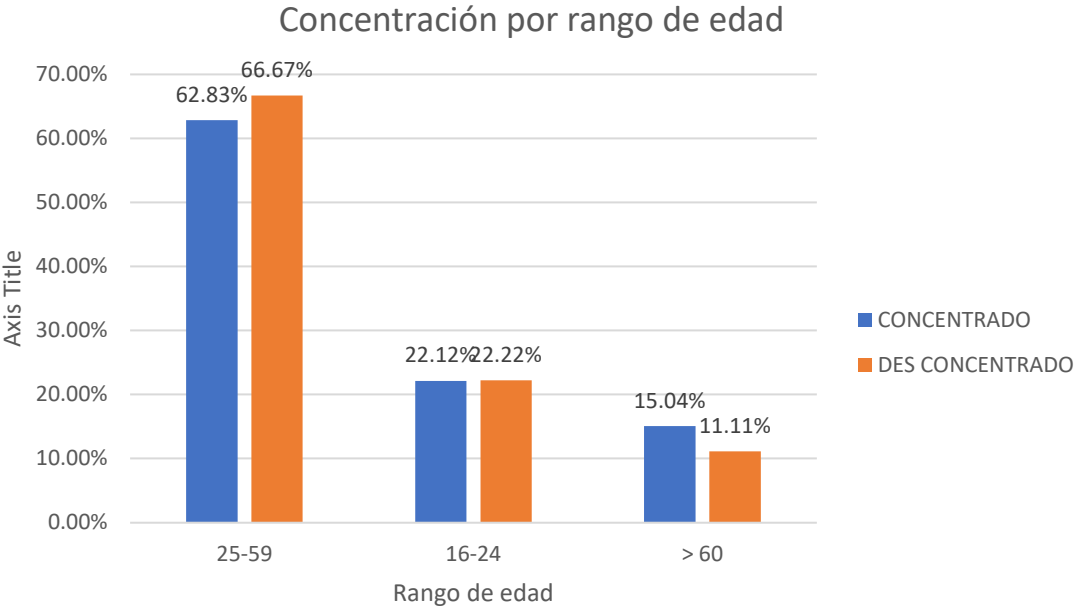
Hallazgos



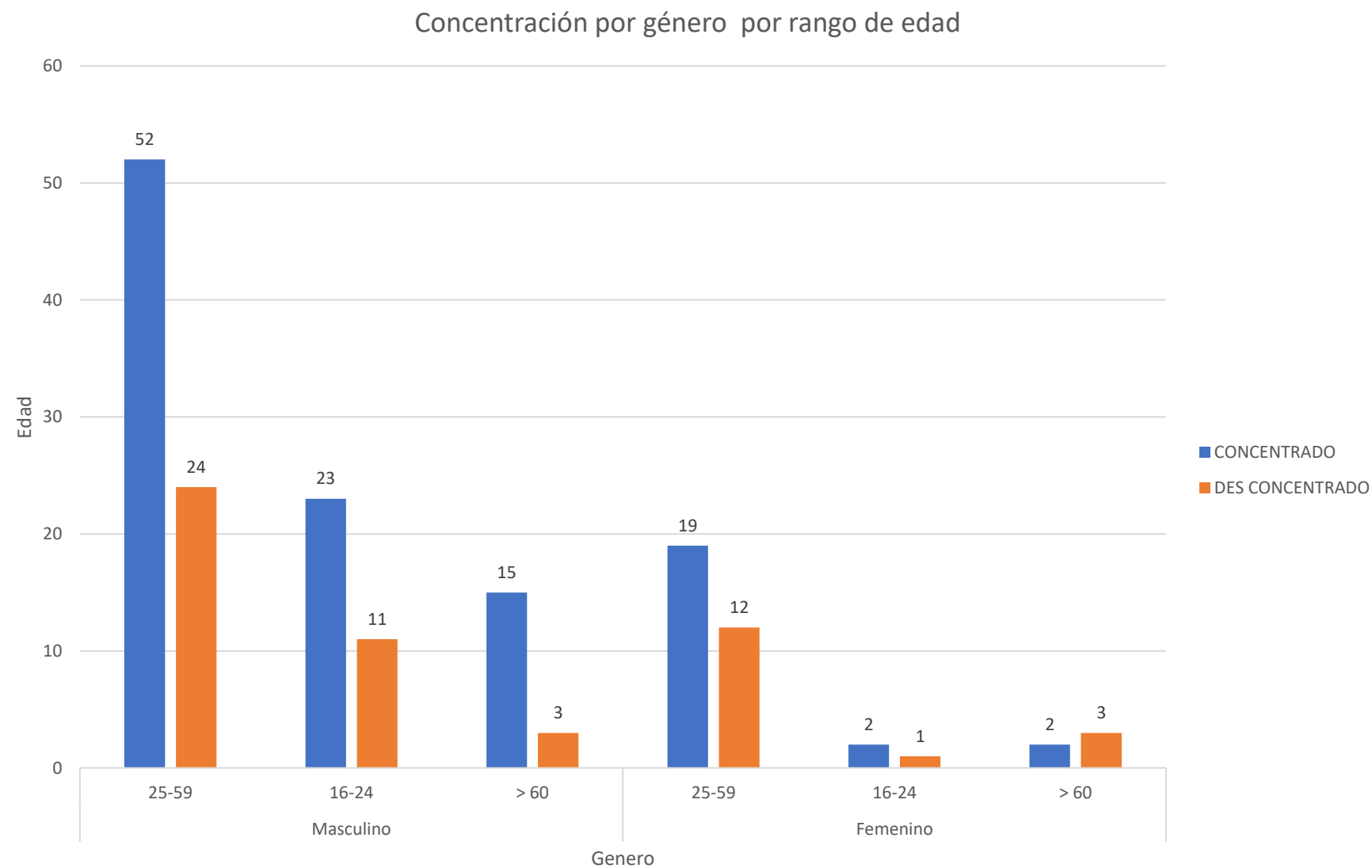
Hallazgos

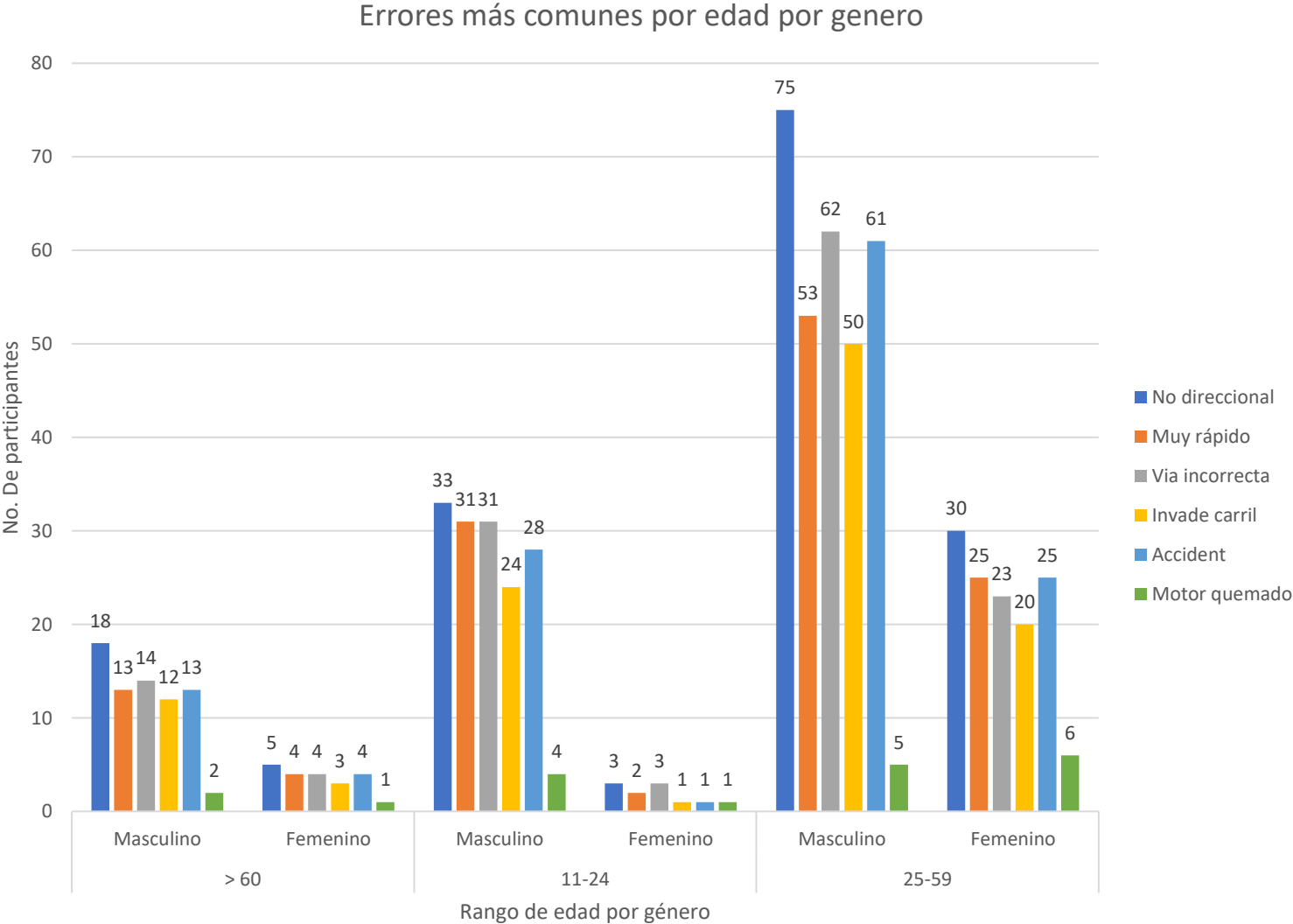


Hallazgos

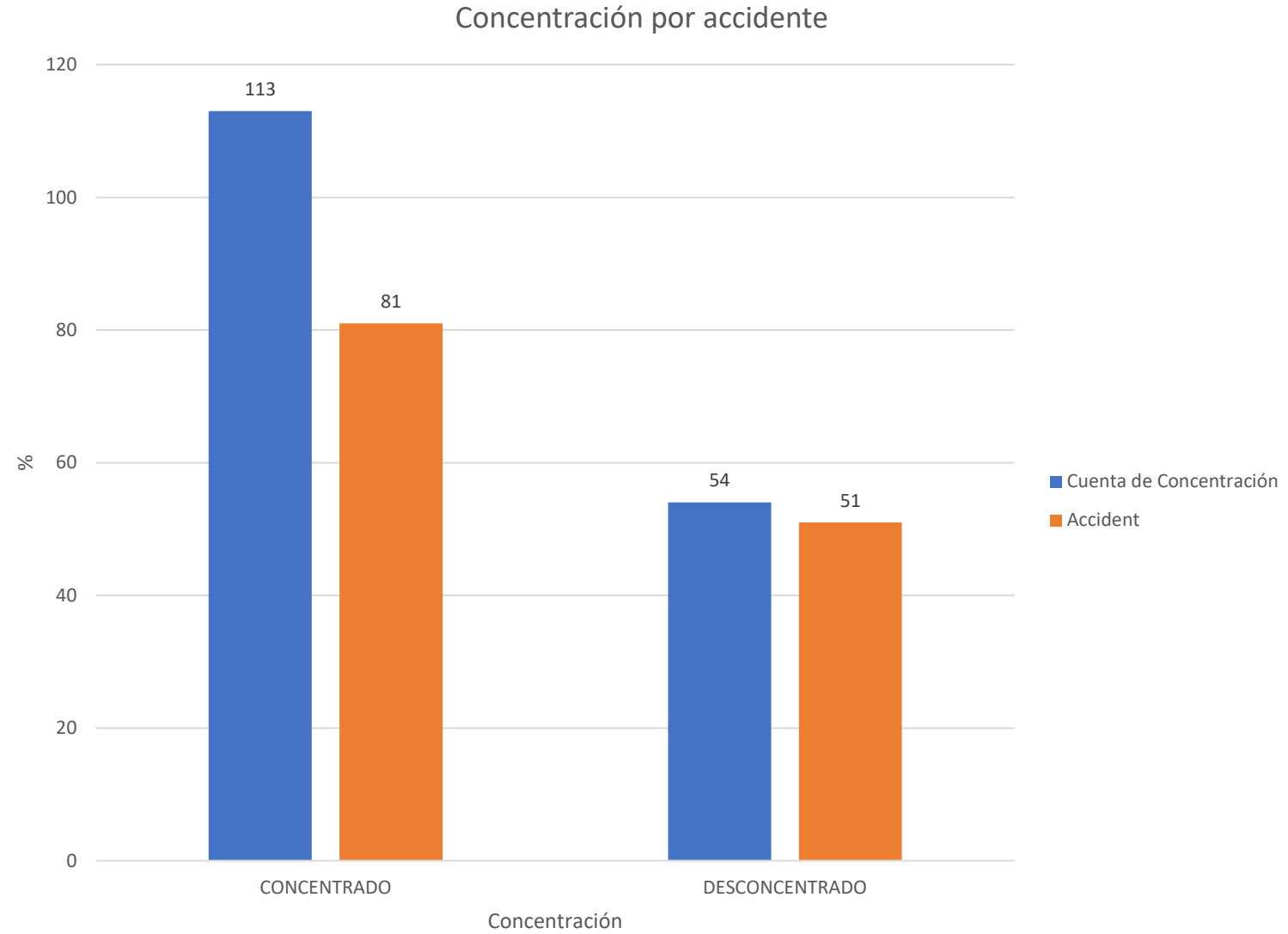


Hallazgos



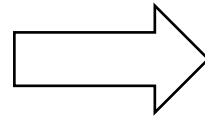


Hallazgos

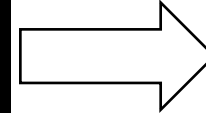


vii. Especificación de las entradas y salidas del modelo a construir

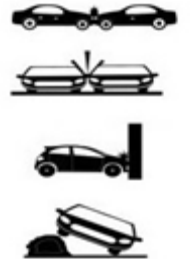
- Información demográfica del conductor
 - Genero
 - Estrato socioeconómico
 - Nivel educativo
 - Edad
- Información del conductor recolectada en el simulador de
 - Registro de accidentes con estampas de tiempo (conducción indebida, infracciones y accidentes)
 - Funcionamiento sistemas
 - Registros (cámaras,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



Funciones de respuesta
(Problema Inverso)

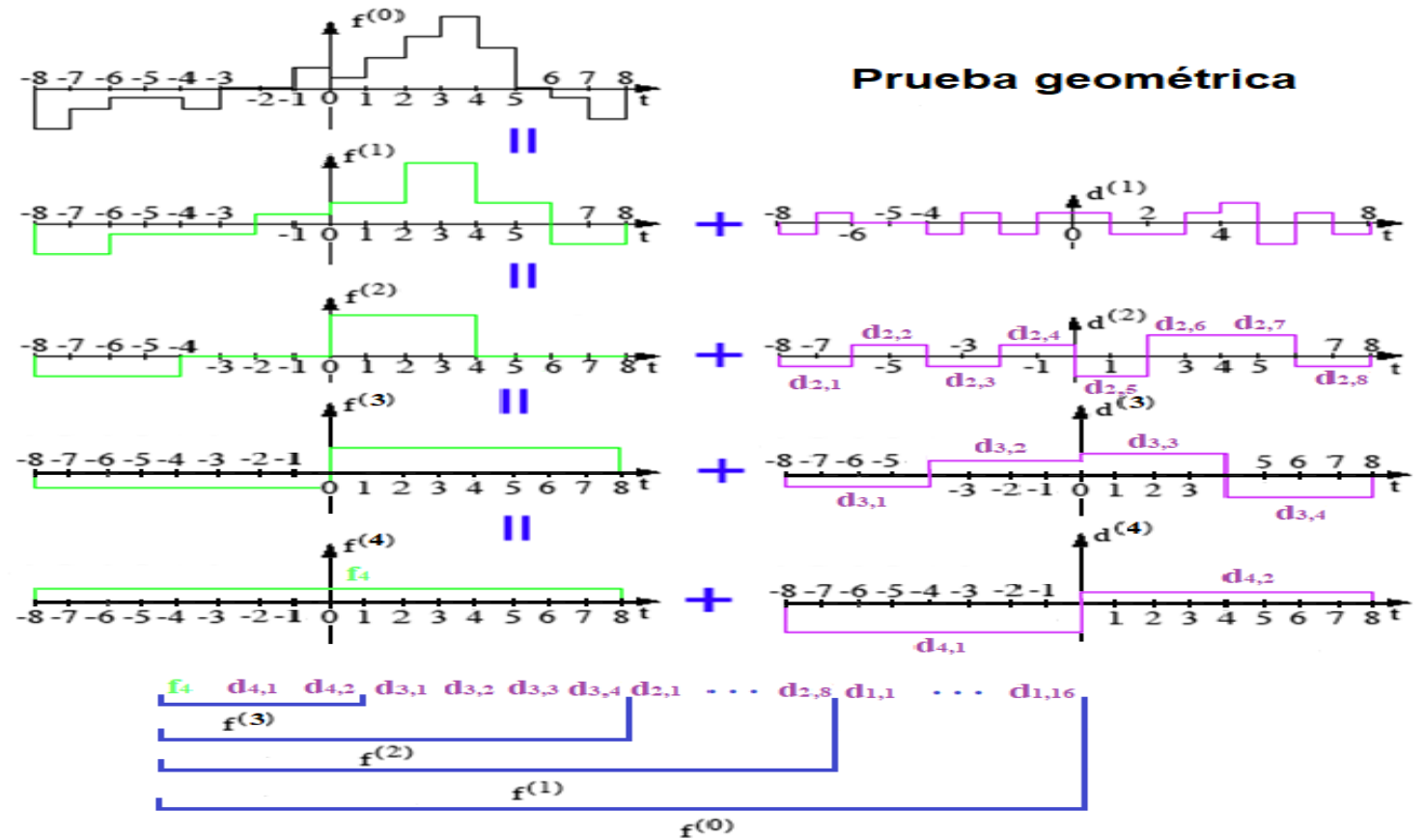
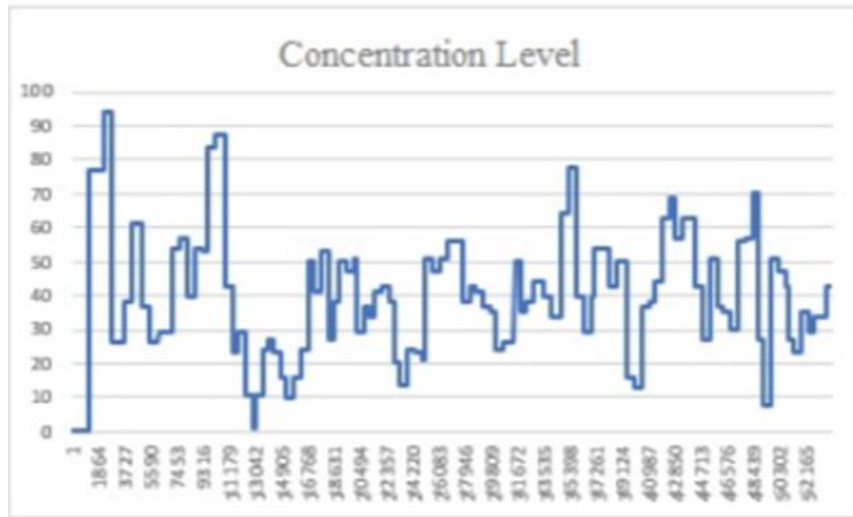


Probabilidad conductor genere accidentes.



Incidentes
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 contruidos 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

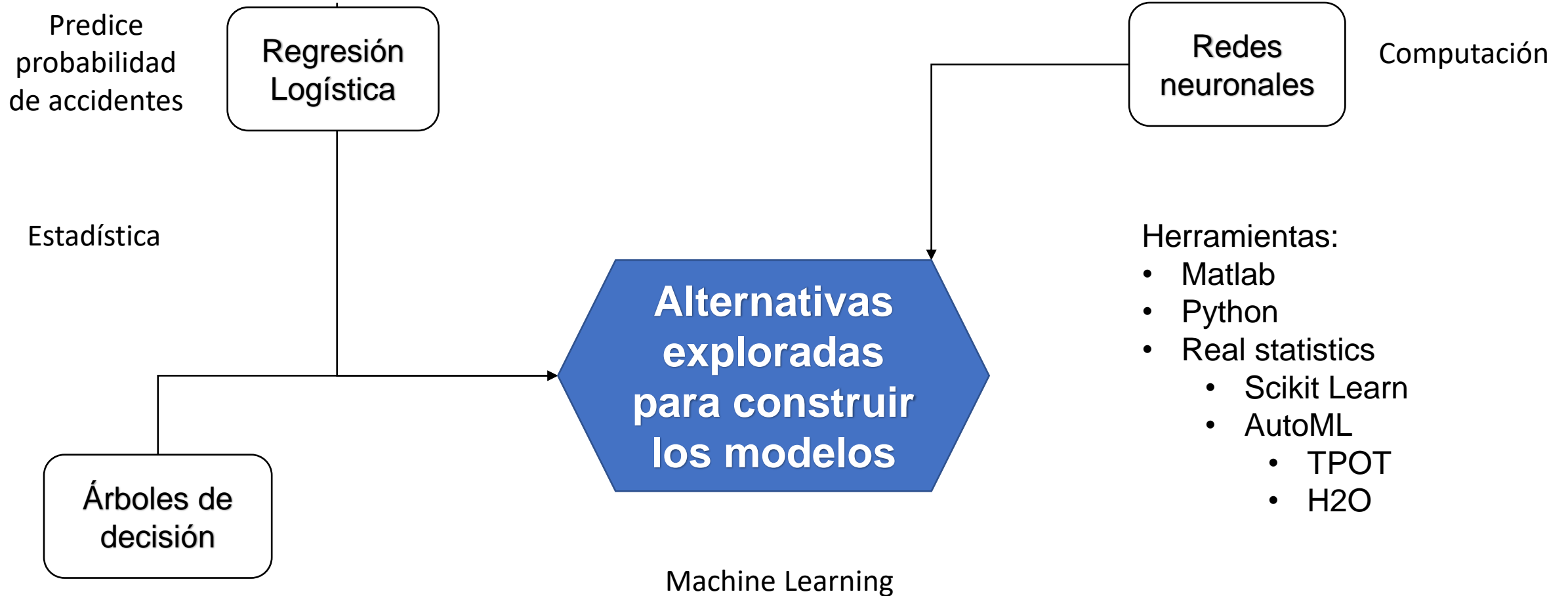
```

                                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



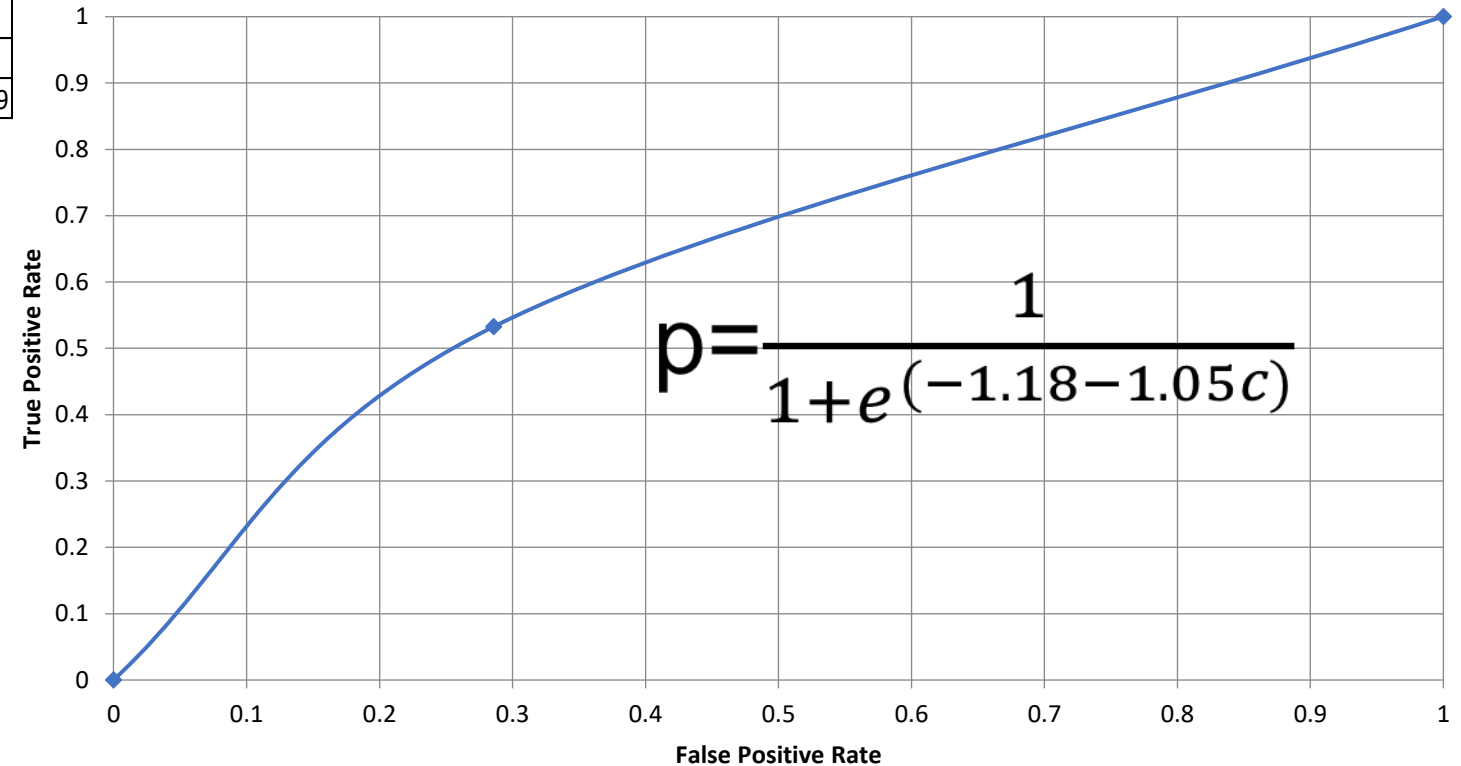
Modelos de regresión logística

Modelo construido utilizando ML regresión logística

Curva Accidente: Concentración

	<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



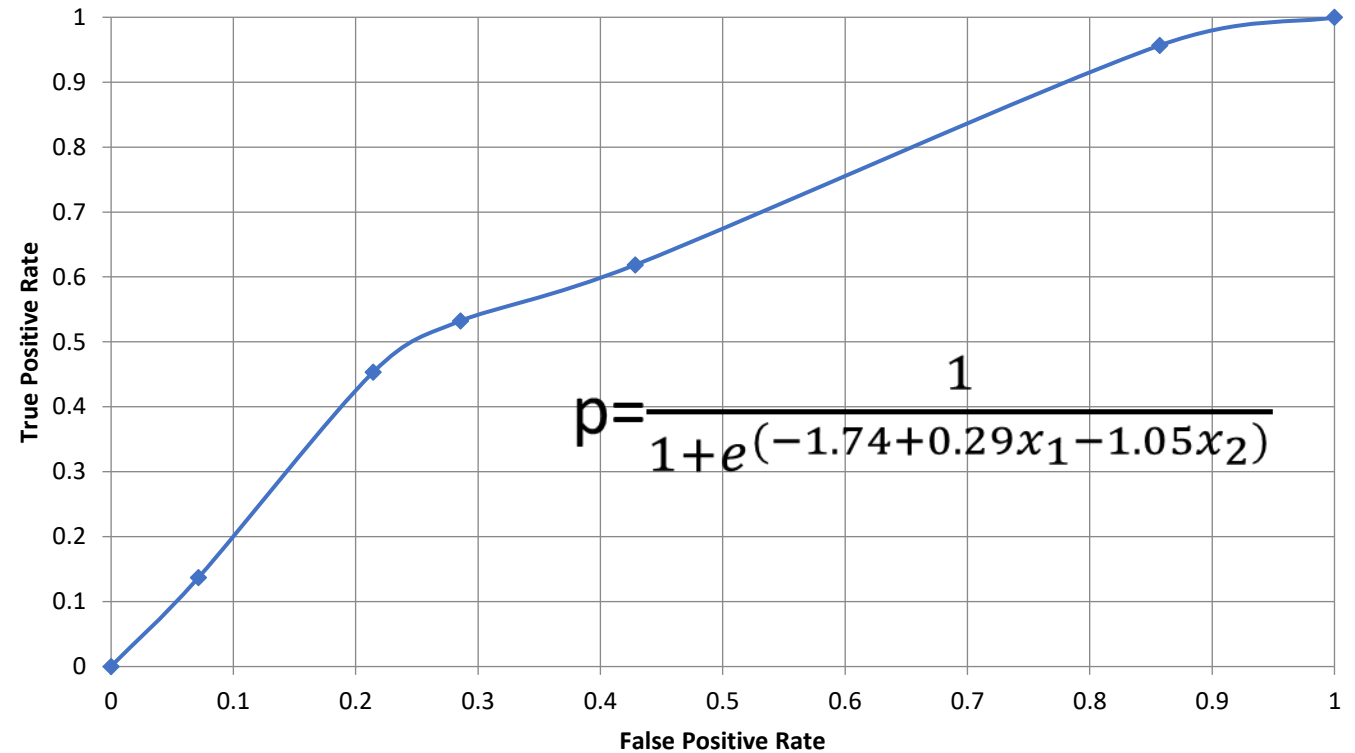
Modelo construido utilizando ML regresión logística

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

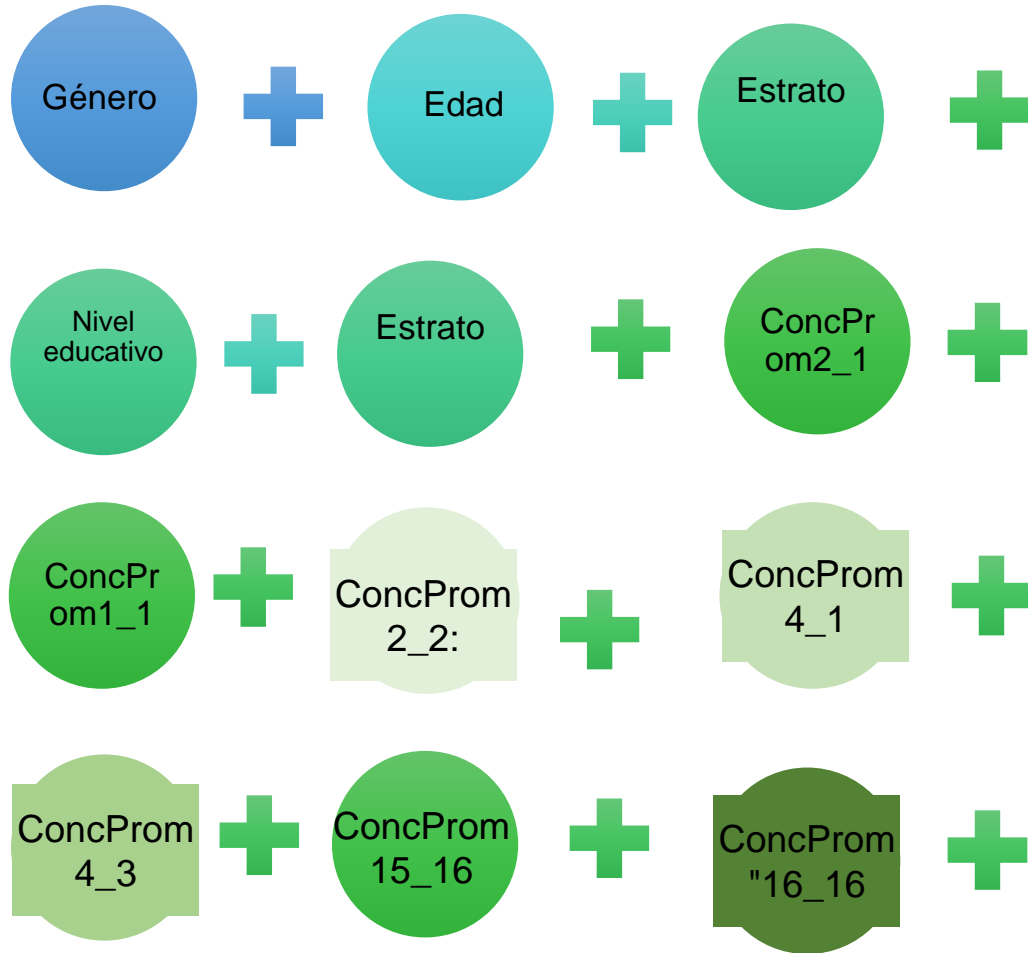
ACCIDENTALIDAD: EDAD+CONCENTRACIÓN



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

La variables de entrada (o variables independientes) son:



La variable de salida (o variable dependiente) es:



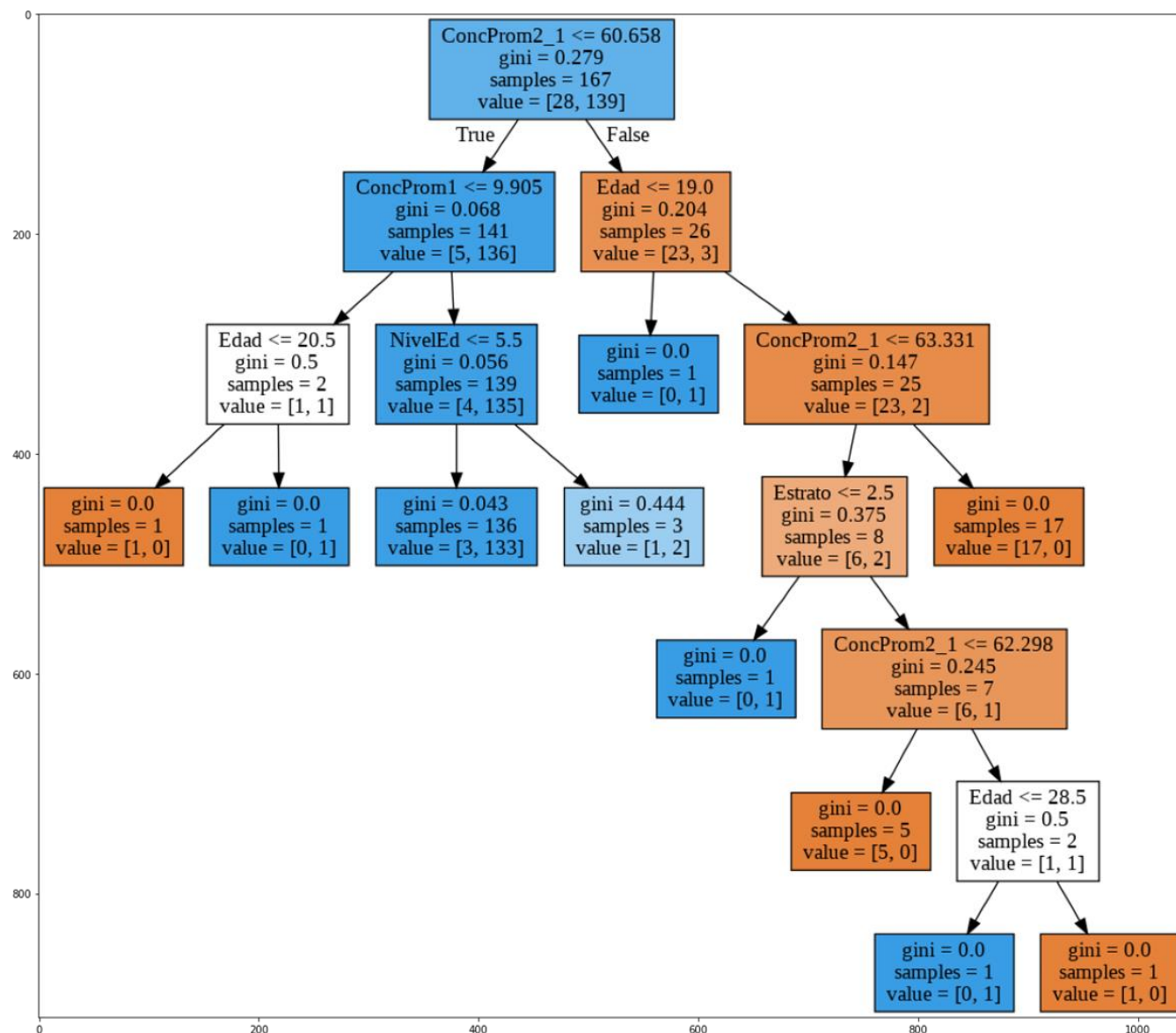
	<i>coeff b</i>	<i>s.e.</i>	<i>Wald</i>	<i>p-value</i>	<i>OR</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>
Intercept	26.78	6.75	15.75	0.0001	428,830,891,844.40		
Género	-0.23	1.37	0.03	0.8672	0.80	0.05	11.63
Estrato	-0.45	0.85	0.28	0.5938	0.64	0.12	3.34
Nivel educat	0.97	0.72	1.82	0.1774	2.64	0.64	10.82
Rango Etarec	-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	0.0415	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	0.0360	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



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
```

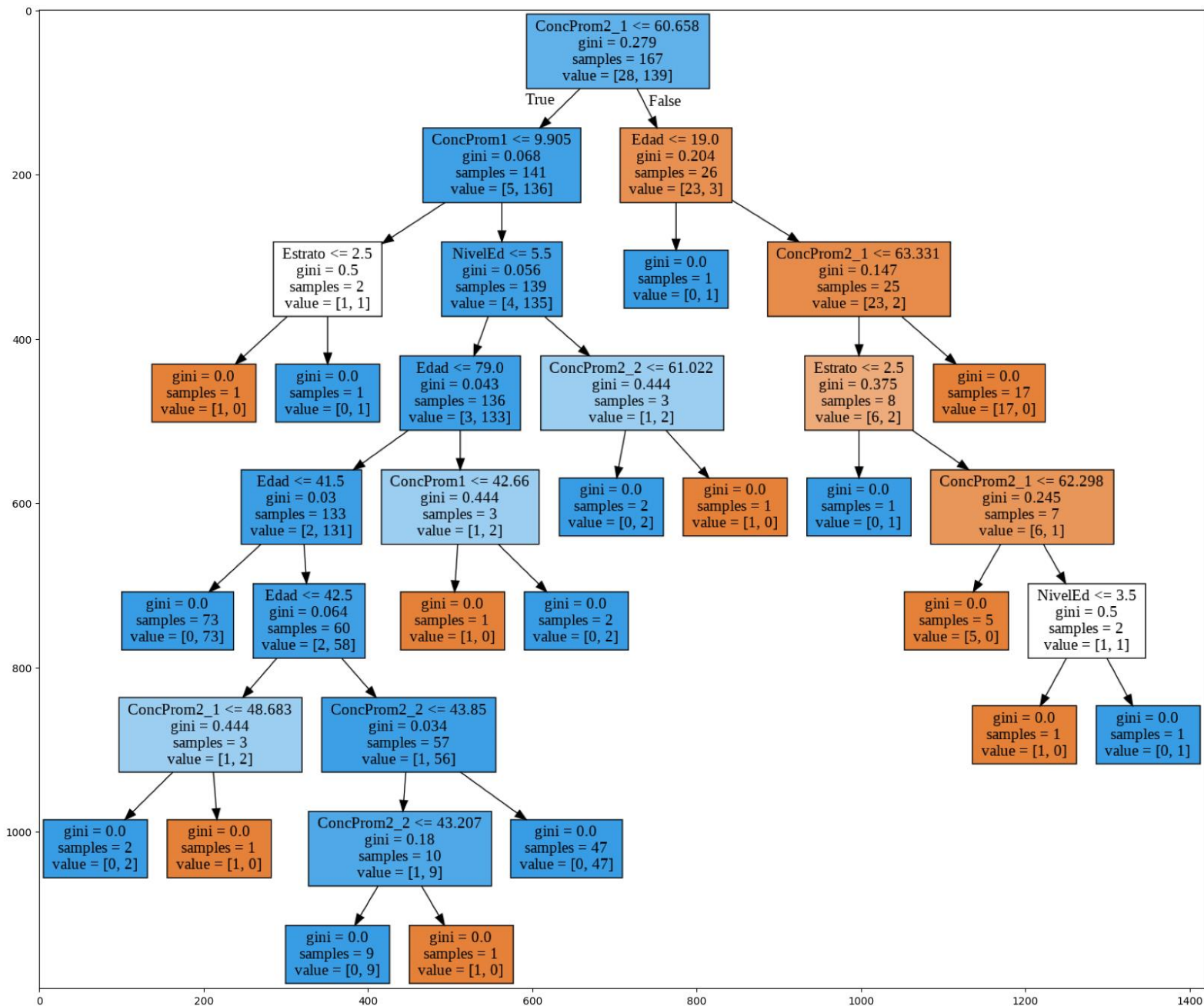
cross_val10

```
[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 10 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
macro avg       1.00        1.00        1.00         167
weighted avg       1.00        1.00        1.00         167

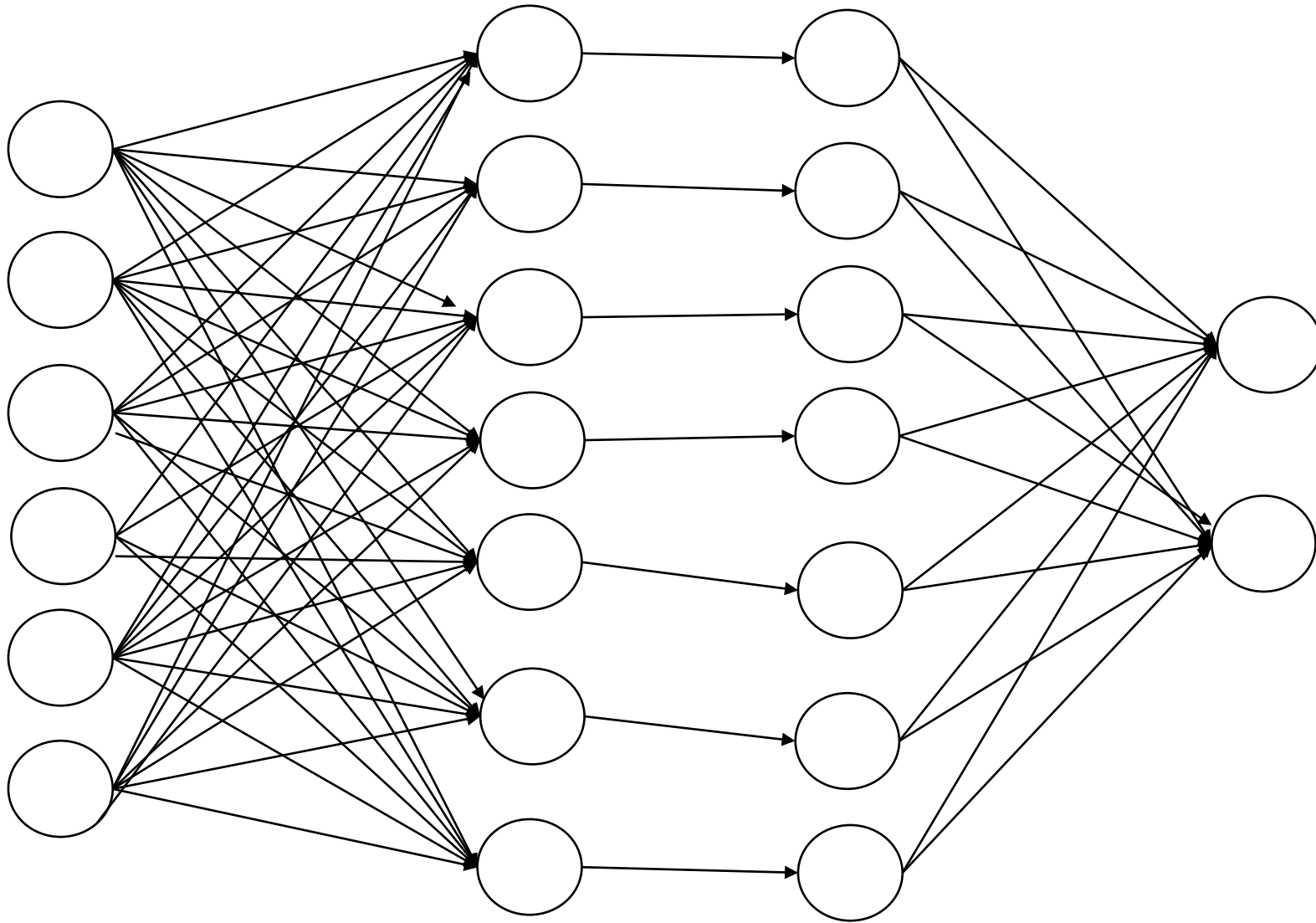
cross_val5
[0.91176471 0.94117647 0.90909091 0.84848485 0.87878788]
cross_val5.mean
0.8978609625668449
cross_val10
[0.88235294 0.94117647 0.94117647 0.94117647 0.82352941 1.
 0.94117647 0.875      0.9375      0.875      ]
cross_val10.mean
0.9158088235294117

```

Árbol de decisión de 20 nodos

Modelo de red neuronal

Modelo construido con una red neuronal



7 neuronas
de entrada

20 neuronas
Capa oculta

20 neuronas
Capa oculta

2 neuronas
de salida

		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)

Actual

```
[1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1  
1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1  
1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1  
1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0]
```

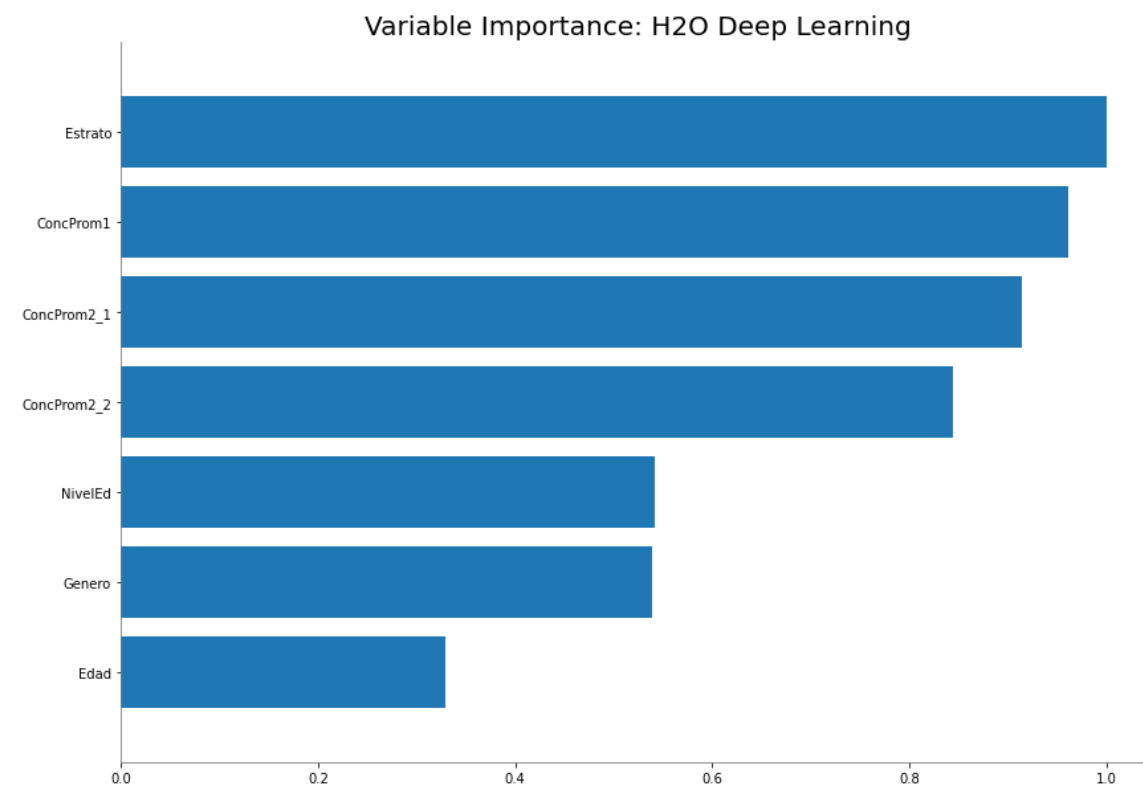
```
deeplearning prediction progress: ██████████ 100%
```

predicted

```
[1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1
1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1
1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1]
```

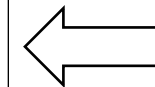
Prediction Accuracy

0.9820359281437125



Modelos obtenidos

Tipo de Modelo	Variables	Precisión
Regresión logística	Concentración	83%
Regresión logística	Concentración, grupo etéreo	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 sobre costos 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.

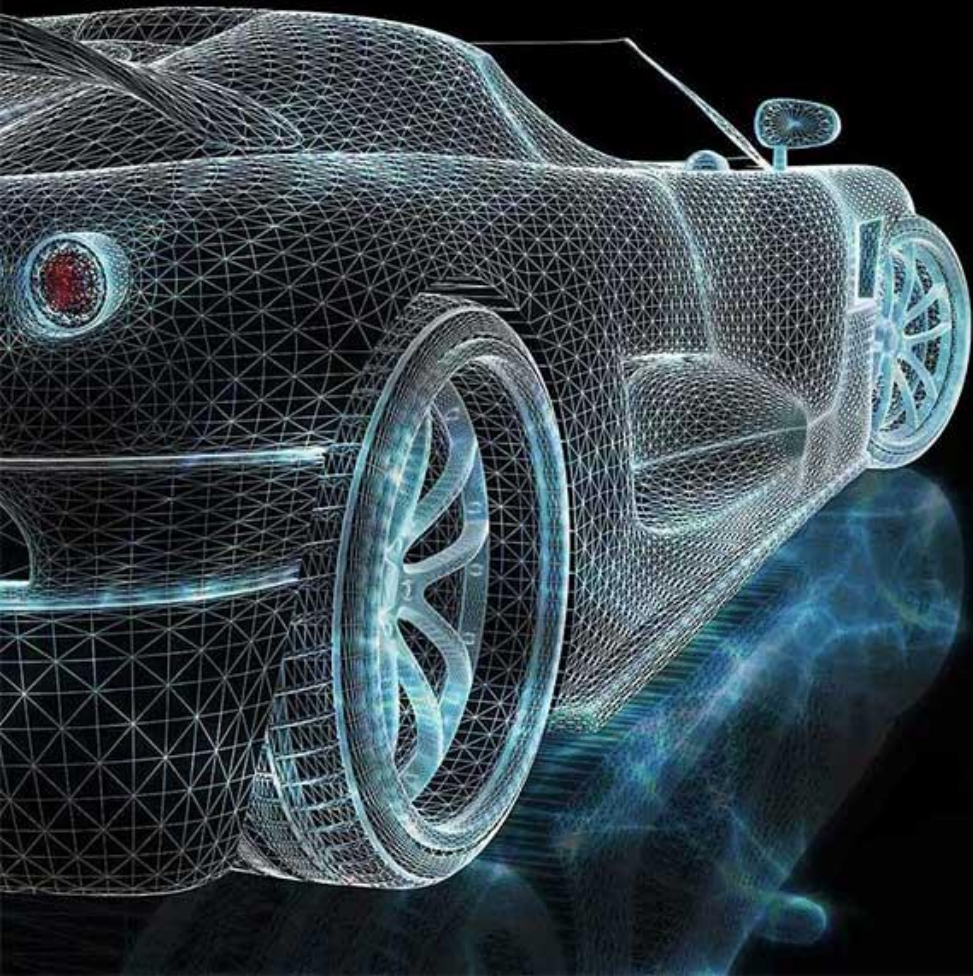
Toda la información de la presente investigación se encuentra guardada en un Github para ser usada en futuras investigaciones

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