

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Facultat de Psicologia



Institut de Trànsit i Seguretat Viària

INTRAS

Programa 122C: Trànsit i Seguretat Viària II



Identificació, càlcul i interpretació de mesures d'execució en Simulació de Conducció

TESI DOCTORAL

Presentada per:

Ignacio Pareja Montoro

Dirigida per:

Pedro M. Valero Mora

Inmaculada Coma Tatay

València, 2015

A mon père

Agraïments

Són moltes les persones que d'una o d'una altra manera m'han ajudat en el procés de realització de la tesi. No només directament, sinó també acompanyant-me i formant part de la meua vida.

En primer lloc, vull mostrar el meu agraïment als meus directors de tesi doctoral, el doctor Pedro Valero Mora i la doctora Inmacula Coma Tatay, pel seu suport en la realització de la tesi. Els seus consells, les seues orientacions i sobretot el seu recolzament humà han sigut claus per a dur a bon terme el meu treball.

En segon lloc, mencionar també els companys de treball que he tingut des que vaig començar el meu camí a la Universitat de València ara fa ja vint anys. Amb alguns d'ells han sigut molts anys de convivència i he tingut la sort de conèixer persones d'increïble valor humà com el doctor Jesús Gabriel Molina Ibáñez, que ens va deixar fa molt poc de temps.

En últim lloc, però no per això menys important, vull agrair l'amor i els ànims de la meua família i els meus amics. Vull mencionar especialment la meua dona, el meu fill, la meua mare, el meu germà i, sobretot, el meu pare. Agraïment especialíssim per a ell, perquè sempre em va mostrar la il·lusió que tenia perquè el seu fill fera la tesi.

Índex

1	Objectius, metodologia i estructura de la tesi	1
1.1	Introducció	1
1.2	Plantejament del problema	3
1.3	Objectius	4
1.3.1	Classificació de mesures	5
1.3.2	Càlcul de mesures	7
1.4	Metodologia	7
1.5	Estructura	8
2	Trànsit i conducció	11
2.1	Trànsit i automòbil	11
2.2	Accidents de trànsit	13
2.3	Distracció en la conducció	16

ÍNDIX

2.4	Conducció	18
2.5	Mètodes per al mesurament de la tasca de conducció	21
2.5.1	Estudis transversals o de prevalença	22
2.5.2	Estudis a la vora de la carretera	22
2.5.3	Estudis quasiexperimentals	23
2.5.4	Estudis en carretera	23
2.5.5	Estudis mitjançant simulació de conducció	25
2.6	TICS, ITS, IVIS i ADAS	25
3	Simuladors de Conducció	29
3.1	Història de la Simulació de Conducció	29
3.2	Tipus de Simuladors de Conducció	34
3.3	Fidelitat dels Simuladors	36
3.4	Validesa dels Simuladors	37
3.5	Sensibilitat dels Simuladors	38
3.6	Programari dels Simuladors de Conducció	39
3.6.1	Mòdul de visualització	39
3.6.2	Mòdul de simulació dinàmica	41
3.6.3	Mòdul de sensorització	41

3.6.4	Mòdul de control de plataforma	41
3.6.5	Mòdul de so	42
3.6.6	Mòdul de simulació del trànsit	43
3.6.7	Mòdul de gestió d'escenaris	43
3.6.8	Mòdul de gestió de mesures	45
3.6.9	Mòdul de comunicació i sincronització	45
3.6.10	Base de dades Correlacionada	45
3.7	Simuladors com a eines d'investigació	48
3.8	Mareig del Simulador	50
4	Simulador de conducció SIMUVEG	55
4.1	Introducció	55
4.2	Simulador de l'autopista AP-7	56
4.2.1	Modelador de la via	58
4.2.2	Aplicació de conducció	61
4.3	Simulador EVICA	63
4.4	Simulador SIMUVEG	68
4.4.1	Components	68
4.4.2	Programari	70

5	Estat de l'art en les mesures de conducció	73
5.1	Introducció	73
5.2	Projecte europeu HASTE	74
5.2.1	Mesures d'execució	76
5.2.2	Mesures de càrrega de treball	78
5.2.3	Mesures de consciència situacional	80
5.3	Estàndard ISO/DIS 17207/2003	80
5.3.1	Càrrega de treball	81
5.3.2	Execució de la tasta de conducció	82
5.3.3	Adaptació del comportament	83
5.3.4	Usabilitat	83
5.4	Xarxa d'Excel·lència Humanist	84
5.4.1	Mesures d'execució	86
5.4.2	Mesures sobre l'estat del conductor	89
5.4.3	Usabilitat	91
5.4.4	Acceptació	92
5.5	Projecte europeu AIDE	92
5.5.1	Models mentals i requeriments dels usuaris	96
5.5.2	Usabilitat i Acceptació	97

5.5.3	Càrrega de treball	99
5.5.4	Consciència situacional	99
5.5.5	Execució de la conducció	99
5.5.6	Rendiment visual	101
6	Classificació de les mesures de la conducció	103
6.1	Introducció	103
6.2	Mesures de planificació estratègica	104
6.3	Mesures d'execució	108
6.4	Mesures psicofísiques	108
6.4.1	Càrrega de treball i distracció	108
6.4.2	Consciència situacional	116
6.4.3	Models mentals del conductor	118
6.5	Mesures específiques sobre TICS	121
6.5.1	Usabilitat	122
6.5.2	Acceptació	124
7	Mesures d'execució	127
7.1	Introducció	127
7.2	Control longitudinal del vehicle	133

7.2.1	Temps de viatge	134
7.2.2	Distància de viatge	134
7.2.3	Velocitat mitjana	135
7.2.4	Desviació típica de la velocitat	136
7.2.5	Velocitat màxima	137
7.2.6	Canvi de velocitat	137
7.2.7	Acceleració longitudinal	138
7.2.8	Temps per damunt/davall de la velocitat màxima . .	138
7.2.9	Diferència de velocitat entre vehicles	139
7.2.10	Distància entre vehicles (<i>Distance Headway</i> (DH)) .	140
7.2.11	Temps entre vehicles (<i>Time headway</i> (TH))	140
7.2.12	Temps de col·lisió (TC) (<i>Time-to-Collision</i> (TTC)) .	141
7.2.13	Temps després d'abandonar la zona de conflicte (<i>Post-Encroachment Time</i> (PET))	142
7.3	Control lateral del vehicle	143
7.3.1	Mitjana de la Posició Lateral (MLP)	143
7.3.2	Desviació típica de la posició lateral (SDLP)	143
7.3.3	Distància lateral mínima/mitjana entre vehicles . . .	144
7.3.4	Desviació típica de l'angle del volant (SDST)	144

7.3.5	Nombre de passos per zero (ZERO)	144
7.3.6	Amplitud del volant (<i>Steering amplitude</i>)	145
7.3.7	Taxa de canvis de direcció del volant (<i>Steering Wheel Reversal Rate (SRR)</i>)	145
7.3.8	Ràtio d'acció del volant (<i>Steering Wheel Action Rate (SAR)</i>)	146
7.3.9	Girs ràpids del volant (<i>Rapid Steering Wheel Turns (RSWT)</i>)	147
7.3.10	Component d'alta freqüència de l'angle del volant (<i>High Frequency Component of the Steering Wheel Angle (HFC)</i>)	148
7.3.11	Entropia de la direcció (<i>Steering Entropy</i>)	149
7.3.12	Màxim/desviació típica de la diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle	151
7.3.13	Temps per a encreuar la línia (<i>Time to Line Crossing (TLC)</i>)	152
7.3.14	Eixides del carril (<i>Lane boundary excursion (LANEX)</i>)	154
7.4	Accions del conductor	156
7.5	Detecció d'esdeveniments	156
7.5.1	Detecció d'objectes a la vora de la carretera	157
7.5.2	Temps de resposta i temps de reacció	157
7.5.3	Distància de resposta	158

ÍNDIX

7.5.4	Omissions de resposta	158
7.5.5	Respostes errònies	158
7.6	Mesures subjectives	159
7.6.1	DBQ (<i>Driving Behaviour Questionnaire</i>)	159
7.6.2	DQS (<i>Driving Quality Scale</i>)	159
7.6.3	Protocol de l'observador de Lund/ <i>Wiener Fahrprobe</i>	160
7.6.4	TRIP (<i>Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive</i>)	160
8	Conclusions i treball futur	163
8.1	Conclusions	163
8.1.1	Classificació proposada	165
8.2	Definició dels algorismes de càlcul de les mesures	168
8.3	Treball futur	170
	Bibliografia	173

Índex de figures

2.1	Carrer de l'antiga Pompeia amb voreres i passos de vianants	12
2.2	Estructura jeràrquica de la tasca de conducció	20
3.1	Aula de simulació amb Drivo-Trainer	31
3.2	Aetna Roadometer	32
3.3	HYSIM: vista des de l'interior del vehicle	33
3.4	Vista exterior del NADS	35
3.5	Flux habitual d'informació entre els mòduls d'un sistema de simulació	40
3.6	Exemple d'arbre de representació d'una escena	46
4.1	Estacions gràfiques Silicon Graphics O2 i Octane	57
4.2	Extracte d'un arxiu de descripció de la via amb els segments de planta, perfil i peralt	59

ÍNDIX DE FIGURES

4.3	Segments de la secció transversal de l'autopista AP-7	60
4.4	Extracte d'un arxiu de dades d'execució	61
4.5	Vista de l'eixida gràfica del simulador de l'autopista AP-7 .	62
4.6	Vistes exteriors del simulador EVICA	63
4.7	Estació gràfica Silicon Graphics ONYX2	64
4.8	Extracte d'un informe d'EVICA	67
4.9	Vista exterior del simulador SIMUVEG	69
6.1	Eyetracker Tobii X120	113

Índex de taules

2.1	Principals causes de mortalitat (2004)	14
2.2	Serveis TICS fonamentals [fS97]	26
3.1	<i>Simulation Sickness Questionnaire</i> (SSQ) [KLBL93]	53
4.1	Mesures genèriques i extracte d'algunes de les mesures específiques preses pel simulador EVICA	66
5.1	Mesures d'execució obligatòries i opcionals segons HASTE [RBdW ⁺ 02] [sNC ⁺ 04]	77
5.2	Mesures d'execució no necessàries segons HASTE	78
5.3	Mesures d'execució més utilitzades per a diferents entorns experimentals segons Humanist [Jan07]	87
5.4	Conjunt mínim de mesures d'execució segons Humanist [Jan07]	89
5.5	Mesures sobre l'estat del conductor per a diferents entorns experimentals segons Humanist [Jan07]	90

5.6	Mètodes d'avaluació de la usabilitat segons AIDE [CNT04]	97
5.7	Mètodes d'avaluació de la càrrega de treball segons AIDE [CNT04]	98
5.8	Mesures d'execució segons AIDE [JEC+04]	100
7.1	Mesures d'execució en diferents normatives i projectes . . .	129
7.2	Mesures d'execució extretes de les proves experimentals de SINTEC	132
8.1	Proposta de grups i subgrups de mesures de la conducció .	166

Capítol 1

Objectius, metodologia i estructura de la tesi

1.1 Introducció

La utilització de simuladors de conducció constitueix una eina de gran valor per als especialistes en trànsit i seguretat viària. Mitjançant aquests és possible avaluar la resposta dels conductors davant:

- Situacions de conducció que implicarien un cert grau de risc en cas de produir-se en la vida real:
 - Conducció sota els efectes de l'alcohol o les drogues.
 - Conducció prolongada (fatiga, son, etc.).
 - Conducció sota condicions atmosfèriques adverses, etc.
- Situacions de conducció en carreteres no reals:

- Avaluació de diferents alternatives de traçat.
- Avaluació de diferents alternatives de senyalització, etc.
- L'ús de tecnologies en la conducció (mòbil, GPS, ordinador de bord, dispositius embarcats, etc.)
- Nous prototipus de vehicles.

Un determinat simulador de conducció pot constituir una eina útil d'avaluació o aprenentatge si els conductors perceben la situació de conducció com a real. Les claus per tal d'aconseguir aquest nivell de realitat són de dos tipus: [CSPR00]

- *Tecnològiques.* És a dir, les relacionades amb la creació de simulacions gràfiques, sonores i dinàmiques del vehicle semblants a les reals.
- Les relacionades amb el comportament adient dels vehicles en les situacions de conducció creades.

Perquè un simulador siga realment un instrument útil cal que aquest prenga una sèrie de mesures relatives a l'execució del subjecte en el simulador de conducció tant en l'àmbit de control com en l'àmbit tàctic, les anomenades mesures d'execució. En aquest sentit, la tecnologia de simulació de conducció és ideal perquè permet arreplegar contínuament i de manera precisa índexs d'execució durant la tasca de conducció [PBSP99].

A l'hora de dissenyar un experiment de conducció, la determinació de quines mesures es prendran és una de les tasques més importants que s'ha d'abordar. Aquesta decisió condicionarà tot l'experiment i ha d'estar basada en els criteris adequats; com ara tipus de sistema o tasca que es vol analitzar, tipus de conductors a avaluar, teories i mètodes emprats en estudis anteriors, etc.

El conjunt de mesures que s'enregistraran té una influència vital en el disseny del món virtual (escena) pel qual es condueix durant l'experiment i en les situacions de conducció (escenaris) que abordaran els subjectes. Com es veu, els conceptes escena i escenari tenen significats totalment diferents i cal no confondre'ls. D'altra banda, el tipus de mesures que es faran servir està estretament relacionat amb l'orientació que tinga el simulador (aprenentatge, investigació o oci).

Tant la creació de l'escena 3D per la qual es condueix en el simulador com el disseny d'escenaris de conducció són tasques complexes que requereixen temps. Per això, sempre que siga possible és desitjable desenvolupar simuladors que continguen traçats virtuals i escenaris que puguin ser reutilitzats en diferents proves experimentals de conducció, encara que actualment existeixen eines que simplifiquen el disseny dels traçats de les carreteres i del seu entorn (com per exemple ISTAM ISPOL de l'empresa espanyola Buhodra Ingeniería S.A.). Altrament, en [Com07] Coma va desenvolupar tècniques que simplifiquen la creació d'escenaris de conducció de manera que la seua definició pugua realitzar-se utilitzant un llenguatge d'especificació d'escenaris.

1.2 Plantejament del problema

Existeix una gran problemàtica a l'hora d'abordar la decisió de quines mesures cal utilitzar en una prova experimental ja que:

- No hi ha una classificació precisa que incloga el conjunt de mesures d'execució que es poden fer servir i que a més explique el seu càlcul. Com es veurà en els següents capítols de la tesi sí que existeixen algunes classificacions; encara que no inclouen moltes de les mesures, no expliquen com s'han d'obtenir o bé no estan correctament organitzades.

- Habitualment no es té en compte cap indicador referent al nivell estratègic de la tasca de conducció. Malgrat que aquests indicadors no són estrictament mesures d'execució, ja que no pertanyen als nivells operatiu o tàctic, sí que és convenient fer-los servir en moltes ocasions.
- Moltes vegades succeeix que el nom que es dóna a una mateixa mesura en diferents experiments no coincideix, fet que dificulta la identificació i la comparació de les dades.
- El significat i la forma de calcular una mesura sol ser diferent en cada experiment i habitualment aquests aspectes no estan definits de cap manera en la documentació de la prova.

Relacionat amb els dos darrers punts, en [Sav] Savino fa un estudi dels noms i les definicions que tenen les mesures en els estudis experimentals. Ell conclou que moltes vegades les mesures solen tindre deu o més noms distints i que només en entre el 10% i 15% de les ocasions aquestes estan definides.

1.3 Objectius

Com a resposta a la problemàtica que s'ha vist en l'apartat anterior, en la present tesi doctoral es persegueixen dos objectius fonamentals. Ambdós estan relacionats directament amb les diferents mesures d'execució que es poden obtenir en un simulador de conducció. Aquests objectius són els següents:

1. Fer una revisió del tipus de mesures que es poden prendre en un experiment de conducció per identificar-les i classificar-les adequadament. Aquesta classificació ha d'incloure tant mesures d'execució com d'altres tipus de mesures de la conducció.

2. Exposar els mètodes de càlcul de cadascuna de les mesures.

En aquest punt és convenient matisar diverses qüestions entorn de la utilització del concepte mesura en les proves experimentals de conducció.

En primer lloc, s'ha de tindre en compte que en moltes ocasions quan es parla de mesura es pot fer referència també a mètodes o tècniques d'extracció de mesures.

En segon lloc, cal assenyalar que les paraules variable i paràmetre s'utilitzen habitualment com a sinònim de mesura en nombrosos estudis experimentals; encara que estrictament aquests dos conceptes haurien de referir-se únicament als operadors que s'utilitzen per a calcular el valor d'una mesura. Per exemple, la velocitat lateral no és realment una mesura d'execució, sinó un paràmetre o variable que s'utilitza per a calcular el temps per a encreuar la línia (que sí és una mesura que s'avalua).

A continuació es detallen cadascun d'aquests dos objectius que són necessaris per al desenvolupament de la tesi.

1.3.1 Classificació de mesures

Un aspecte bàsic per a l'òptima utilització del simulador com a eina d'experimentació és la identificació de les variables que poden ser útils. Aquesta identificació està íntimament relacionada amb la definició correcta dels escenaris o situacions pels quals els subjectes han de conduir, puix que en funció de les mesures que es consideren interessants caldrà construir un determinat escenari o un altre.

D'altra banda, en funció de la finalitat del simulador (entrenament, avaluació o d'altres) es definiran un conjunt diferent d'escenaris i de mesures. A més, caldrà construir els escenaris tenint sempre en compte els factors humans [McG96].

Normalment, en cadascun dels escenaris d'una simulació es poden prendre dos tipus de mesures al subjecte: mesures de control i mesures tàctiques, que com s'ha vist anteriorment ambdós formen les mesures d'execució. En l'àmbit de control s'inclouen aquelles mesures relacionades amb el maneig del vehicle: velocitat, moviments del volant, ús dels intermitents de la manera adequada, relació de les marxades, pressió sobre el pedal del fre, etc. En el nivell tàctic se situen totes aquelles mesures orientades a avaluar la presa de decisions del conductor: girs, avançaments, etc. No obstant això, a banda de les mesures d'execució existeixen d'altres tipus de mesures de conducció que cal tindre en compte a l'hora de dissenyar una prova experimental.

En tot aquest context, la classificació adequada del conjunt de mesures que es poden prendre en un experiment de conducció és un aspecte molt important, ja que facilitarà el procés d'elecció d'aquelles que siguin més convenients per a cada prova.

Per a la identificació i la classificació del conjunt de mesures que s'utilitzen en una prova de conducció es tindran en compte en la tesi dues qüestions:

- L'estudi de les mesures proposades en diferents projectes o normatives d'alta rellevància mundial. En aquest sentit, s'avaluaran quatre fonts de classificació de les mesures de conducció. Són per ordre cronològic les següents:
 1. El projecte HASTE.
 2. L'estàndard ISO/DIS 17207/2003.
 3. La Xarxa d'Excel·lència Humanist.
 4. El projecte AIDE.

Les mesures que cada font inclou es van definir atenent a l'avaluació d'ITS (*Intelligent Transport Systems*). Tanmateix, la major part

de les mesures proposades poden utilitzar-se en qualsevol estudi de conducció, estiga orientat o no a l'avaluació d'ITS. Açò és possible perquè cada classificació conté únicament un reduït grup de mesures que són específiques per a l'estudi d'aquests sistemes.

- El model jeràrquic d'habilitats i control que divideix en tres nivells la tasca de conducció proposat per John A. Michon [Mic79]. En aquest sentit, es considera que hi ha una manca important en tots els projectes i les normatives comentades en el punt anterior, ja que cap d'ells té en compte indicadors referents al nivell estratègic de la tasca de conducció.

1.3.2 Càlcul de mesures

L'altre objectiu que persegueix la tesi és identificar els mètodes de càlcul de cadascuna de les mesures. Es farà un estudi de les distintes fórmules i algorismes de càlcul de les mesures. Així mateix, s'identificarà si una mesura té diferents significats i es definirà el mètode de càlcul associat a cada significat.

La majoria de les mesures que el simulador pot prendre són mesures simples en el sentit que no requereixen un càlcul complex (mitjanes, màxims, mínims, etc.). Nogensmenys, existeixen algunes mesures que requereixen un càlcul més elaborat fent servir algorismes més complexos, atés que, o bé la naturalesa pròpia de la mesura necessita més càlculs o bé depèn d'altres factors com ara el disseny de la via (curvatura, etc.).

1.4 Metodologia

La metodologia que s'ha fet servir per a dur a terme els objectius de la tesi és la següent:

1. Revisar l'estat de l'art entorn de les mesures d'execució; recopilant les distintes mesures que s'utilitzen, la seua classificació i el seu càlcul.
2. Revisar quines mesures s'usen i com es calculen en els diferents experiments de conducció propis que s'han fet.
3. Proposar una classificació de les mesures basant-se en els punts anteriors.
4. Descriure els mètodes de càlcul de cadascuna de les mesures.

1.5 Estructura

En el capítol actual s'estan especificant els objectius, la metodologia i l'estructura de la tesi. La tesi continua fent una revisió en el segon capítol de diferents aspectes relacionats amb el trànsit, la seguretat viària i la conducció. Primer es fa una introducció de la història del trànsit i a continuació es parla de l'accidentalitat. Posteriorment s'exposen la conducció i els seus mètodes de mesurament. El capítol finalitza amb l'explicació dels conceptes TICS, ITS, IVIS i ADAS.

El tercer capítol està dedicat enterament als simuladors de conducció. S'hi inclou la seua història, la seua classificació en funció de distints aspectes, l'explicació de diverses propietats del simuladors, l'estructura modular del seu programari, els avantatges i desavantatges que tenen com a eina d'investigació i, per acabar, l'estudi del fenomen del mareig del simulador (causes, solucions, etc.).

El quart capítol està dedicat a mostrar el simulador de conducció SIMUVEG. Aquest simulador va ser desenvolupat pel grup d'investigació SINTEC de l'Institut de Trànsit i Seguretat Viària (INTRAS) de la Universitat de València, grup en el qual el doctorand ha treballat des dels seus inicis i on continua treballant. Per tal de mostrar les característiques

d'aquest simulador s'hi fa una revisió dels simuladors desenvolupats anteriorment per SINTEC, ja que el programari i el maquinari de SIMUVEG està basat en l'evolució d'aquests.

El cinqué capítol està dedicat a revisar l'estat de l'art i fer l'estudi de diverses fonts de classificació de les mesures de conducció. S'exposen les mesures incloses en cada font i la seua organització en diferents grups.

El sisé i el seté capítol mostren la classificació de les mesures de conducció que s'ha derivat de la revisió feta al quinqué capítol i de l'experiència acumulada amb els simuladors desenvolupats per SINTEC. Així, la identificació de les mesures d'execució i la definició del seu càlcul es fan en el seté capítol, mentre que la resta de mesures de conducció s'exposen en el sisé capítol.

Finalment, el huité i últim capítol fa una exposició de les conclusions i del possible treball futur que es pot realitzar.

Capítol 2

Trànsit i conducció

2.1 Trànsit i automòbil

No es pot considerar el trànsit com un fenomen relativament nou associat a la generalització de l'ús de l'automòbil com a mitjà de transport de persones i mercaderies des de principis del segle XX. Abans de la invenció de l'automòbil l'ésser humà ja es desplaçava d'un lloc a un altre per ell mateix o mitjançant uns altres mitjans de transport (animals, carros, trineus, etc.).

En l'Imperi Romà ja es van construir una extensa xarxa de vies pavimentades per tal d'afavorir el transport de persones i béns materials i, sobretot, permetre el desplaçament ràpid del seu exèrcit. A més, en la legislació romana existien nombroses normes sobre trànsit i seguretat viària en vies terrestres: senyalització, regulació del trànsit, conservació de carreteres, etc. (vegeu figura 2.1). Com a curiositat entorn d'aquestes normes cal destacar que recents estudis arqueològics a la ciutat de Pompeia han demostrat que els romans conduïen per la dreta de la carretera [Poe03], cosa que contradiu diverses teories anteriors.



FIGURA 2.1: Carrer de l'antiga Pompeia amb voreres i passos de vianants

Dels diversos invents que l'ésser humà ha ideat des de la Revolució Industrial l'automòbil és un dels que més profundament ha canviat la societat (potser el que més). Va suposar una gran transformació en l'àmbit del transport terrestre, que es va reflectir en una major comoditat i velocitat en els desplaçaments i una major capacitat de càrrega en el transport de béns materials. També en aquesta època es van dissenyar uns altres vehicles a motor que no es poden considerar estrictament com a automòbils però que van contribuir enormement al desenvolupament de l'economia i a l'augment del benestar social (tractors, grues, màquines per a la construcció de carreteres, etc.).

Totes aquestes millores en la societat que l'automòbil va impulsar es veuen enfosquides per un efecte col·lateral negatiu: l'accidentalitat. Les altes taxes de mortalitat i sinistralitat són fenòmens associats a la societat actual, on el parc d'automòbils és molt elevat i s'aconsegueixen velocitats

considerablement més altes que amb els vehicles utilitzats en èpoques anteriors.

2.2 Accidents de trànsit

Actualment els accidents de trànsit constitueixen la major causa de mort externa a tot el món per davant d'altres com ara suïcidis, guerres, etc. A més, són la novena causa de mortalitat global (vegeu taula 2.1) amb un nombre superior al milió dos-cents mil morts per any segons l'Organització Mundial de la Salut [dlS09]. La situació per al futur pot ser encara pitjor, atès que aquesta mateixa organització preveu que els traumatismes per accidents de trànsit augmentaran i esdevindran la cinquena causa principal de mortalitat en 2030 [dlS09].

Per tant, es pot dir sense cap mena de dubte que els accidents de trànsit constitueixen un dels majors problemes en l'actualitat i va suposar també la major epidèmia del segle XX. Les conseqüències negatives de l'accidentalitat no es redueixen únicament al nombre de morts o ferits, també s'han de tindre en compte els alts costos econòmics per als estats i les greus seqüeles psicològiques per als familiars i els amics dels accidentats que aquests generen.

Conseqüentment, les dades de sinistralitat i els seus efectes obliguen la societat a buscar mitjans i aportar solucions per tal de reduir aquestes xifres. Els governs actuals han comprés la importància del problema i estan dissenyant estratègies orientades a la reducció dràstica de l'accidentalitat i la mortalitat a les carreteres.

La Comissió Europea és un dels organismes que més preocupació té per la seguretat viària al món. Va impulsar una campanya amb l'objectiu de reduir la mortalitat en accidents de trànsit de 50000 a 25000 persones entre els anys 2001 i 2010. Malgrat que l'objectiu no es va aconseguir, en eixos

TAULA 2.1: Principals causes de mortalitat (2004)

	Causa	Percentatge
1	Malaltia isquèmica de cor	12,2 %
2	Malaltia cerebrovascular	9,7 %
3	Infeccions de les vies respiratòries inferiors	7,0 %
4	Malaltia pulmonar obstructiva crònica	5,1 %
5	Malalties diarreiiques	3,6 %
6	VIH/sida	3,5 %
7	Tuberculosi	2,5 %
8	Càncers de tràquea, bronquis i pulmó	2,3 %
9	Traumatismes per accidents de trànsit	2,2 %
10	Prematuritat i baix pes en nàixer	2,0 %
11	Infeccions neonatals i d'altres malalties perinatals	1,9 %
12	Diabetis mellitus	1,9 %
13	Paludisme	1,7 %
14	Malaltia cardíaca hipertensiva	1,7 %
15	Asfíxia i traumatisme del naixement	1,5 %
16	Lesions autoinfligides	1,4 %
17	Càncer d'estómac	1,4 %
18	Cirrosi de fetge	1,3 %
19	Nefritis i nefrosi	1,3 %
20	Càncer colorectal	1,1 %

Font: Organització Mundial de la Salut [dIS08]

anys la reducció de la mortalitat va ser considerable (un 43 % en tota la Unió Europea [Eur12]).

No obstant això, el nombre de morts per accident de trànsit a Espanya sí que es va reduir adequadament durant eixe període. Així, l'any 2010 es va aconseguir reduir el nombre d'accidents exactament en un 50% [Eur12]. Les dades donen com a resultat que Espanya va esdevindre un dels països de la Unió Europea on més es van reduir les morts en accidents de trànsit entre els anys 2001 i 2010.

La reducció de la sinistralitat no és un fenomen fruit de la casualitat, aquesta és factible perquè els accidents de trànsit són esdeveniments que es poden evitar. Quan es produeix un accident de trànsit conflueixen en ell diversos factors:

- *Factor humà.* De les diferents circumstàncies que solen confluïr perquè es produïska un accident, el comportament humà és, amb diferència, el factor més important. Les investigacions realitzades asseguren que és la causa d'entre el 70% i el 90% dels accidents de trànsit. Les fallades humanes més comunes que precedeixen a un accident de trànsit són la distracció, l'alcohol, la fatiga i la velocitat inadequada.
- *Estat del vehicle.* És a dir, que el vehicle estiga en les condicions adients per a poder circular amb seguretat (frens, pressió de les rodes, direcció, suspensió, etc.). Normalment un vehicle està en mal estat quan no té un manteniment correcte.
- *Climatologia.* Condicions climatològiques adverses per a la conducció (boira, pluja, neu, gel, vent, etc.). A causa de l'excel·lent climatologia d'Espanya, més del 90% dels accidents es produeixen amb bon temps i únicament un 4,5% amb pluja [dT01]. Tanmateix, el nombre mitjà de morts en un accident de trànsit és superior en els mesos en els quals la climatologia és més adversa. És a dir, que la mala climatologia tendeix a incrementar la gravetat dels accidents de trànsit.

- *Estat de la via.* Paviment en mal estat, senyalització inadequada, semàfors avariats, etc. Malgrat el que en principi pot semblar, la incidència de l'estat de la via en l'accidentalitat és baixa perquè normalment els conductors solen adaptar la seua conducció a l'estat de la via.

2.3 Distracció en la conducció

Com s'acaba de veure el factor humà és el que més influeix en els accidents de trànsit. Dins del factor humà la distracció és l'aspecte més present en els accidents, açò ho corrobora l'estudi realitzat pel RACC (Real Automòbil Club de Catalunya) en col·laboració amb l'Institut de Trànsit i Seguretat Viària de la Universitat de València (INTRAS) [BdCTC05][dCMB⁺05]. Aquest estudi conclou que la distracció és el primer aspecte causant d'accidents a Espanya. L'estudi exposa també que les causes principals de distracció són:

- Marcar un número o enviar un SMS pel telèfon mòbil.
- Parlar pel telèfon mòbil.
- Buscar i contestar el mòbil quan sona.
- Estar sota els efectes de l'alcohol.
- Tindre un insecte dins del cotxe.
- Mirar o llegir un diari, un mapa, etc.
- Dur xiquets esvalotant o plorant.

L'Organització Internacional d'Estàndards (ISO) defineix la distracció en la conducció com l'atenció parada a una activitat no relacionada amb la

conducció que perjudica habitualment l'execució de la tasca de conducció [PBS05]. D'altra banda, Stunt et al. consideren que la distracció es produeix quan hi ha un retard en el reconeixement de la informació que és necessària per tal de mantindre una conducció segura perquè un esdeveniment, activitat, objecte o persona de dins o fora del vehicle force o induísca el conductor a desplaçar la seua atenció fora de la tasca de conducció [SRSR01]. Per a aquests autors l'existència o no d'un esdeveniment desencadenant diferencia un conductor distret d'un conductor simplement no atent. És a dir, ells diferencien distracció d'inatenció, la qual cosa no ho fa la definició feta per l'ISO.

La conducció implica principalment la realització de tasques primàries, és a dir, tasques directament relacionades amb la pròpia activitat de conduir. Algunes de les principals tasques primàries associades a la conducció són: [Tas05]

- Direccionament del vehicle.
- Acceleració.
- Frenada.
- Elecció de velocitat.
- Elecció de carril.
- Maniobres de trànsit.
- Navegació a la destinació.
- Comunicació amb la resta d'usuaris de la via.
- Detecció de perills.

Per altra part, l'ésser humà pot realitzar també d'altres tasques no estretament relacionades amb el maneig del vehicle. En aquest context, una

tasca secundària es defineix com a qualsevol activitat aliena a la conducció. Entre els exemples més habituals de tasques secundàries es poden citar: [Tas05]

- Menjar o beure.
- Fumar.
- Pentinar-se o maquillar-se.
- Manipular la ràdio o d'altres instruments semblants del vehicle.
- Parlar amb els passatgers.
- Atendre a xiquets o mascotes.
- Fer servir telèfons mòbils.
- Mirar mapes o prendre notes.

Al marge de la pròpia lògica, nombrosos estudis assenyalen que la realització de tasques secundàries provoca distracció en la conducció. Així doncs, es pot dir que la distracció sempre està associada a l'execució d'alguna tasca secundària, encara que la realització d'aquestes tasques no sempre està iniciada per decisió pròpia del conductor.

2.4 Conducció

La conducció és, com la majoria de les activitats que realitza l'ésser humà, una activitat complexa i multitasca que comporta riscos. Tanmateix, els conductors tendeixen a acceptar aquests riscos encara que siguin considerables. Quan el risc és imminent el conductor ha d'afrontar-lo i

ha de prendre decisions per realitzar una maniobra evasiva per tal d'evitar el possible accident [Mic79].

John A. Michon va distingir tres etapes en l'avaluació subjectiva del risc en el trànsit: [Mic79]

1. *Acceptació del risc.* En aquesta etapa el risc es defineix en termes de probabilitat de perill en un interval de temps determinat.
2. *Assumpció de riscos.* És un aspecte relacionat amb aquelles actituds i intencions del conductor que augmenten la probabilitat que un perill es faça manifest o no.
3. *Afrontar el perill.* És a dir, prendre dades, decidir i executar una maniobra evasiva amb la finalitat d'evitar el perill percebut.

Aquestes tres etapes no sempre poden ser diferenciades unívocament. Nogensmenys, estan relacionades funcionalment amb els tres nivells jeràrquics d'habilitats i control en què es divideix la tasca conducció (vegeu figura 2.2): nivell estratègic (planificació), nivell tàctic (maniobres) i nivell operatiu (control del vehicle) [Mic79].

És a dir, en el nivell estratègic majoritàriament s'accepten riscos, en el nivell tàctic sobretot es prenen riscos i en el nivell operatiu s'afronta el perill que s'ha percebut [Mic79].

El nivell estratègic inclou la planificació general del viatge o desplaçament, la determinació dels objectius del viatge, les rutes a seguir, els mitjans de transport a utilitzar i la valoració dels costos i els riscos que comporta cada cas [Mic79]. Els plans de viatge es construeixen fonamentalment atenent a consideracions generals de transport, mobilitat, i confort [Mic85]. Són doncs decisions a llarg termini (de minuts a setmanes)

En el nivell tàctic els conductors realitzen maniobres concretes per abordar i resoldre les circumstàncies reals de trànsit (evitar obstacles,

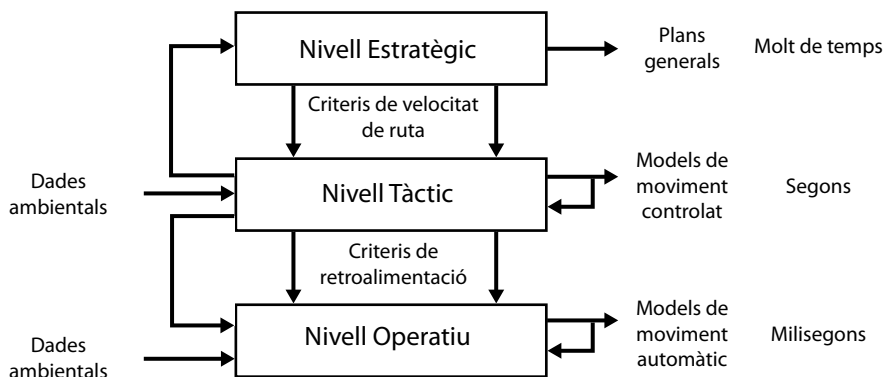


FIGURA 2.2: Estructura jeràrquica de la tasca de conducció
[Mic85]

acceptació de buit, girs, avançaments, elecció de carril, elecció de velocitat, etc.). Malgrat estar molt condicionades per la situació actual del trànsit, les maniobres acostumen a seguir les prescripcions de l'estratègia global del viatge [Mic79]. La decisió de quina maniobra fer o de no fer-ne cap es pren en segons o minuts.

El nivell operatiu inclou les habilitats bàsiques de girar, frenar, accelerar, etc. És a dir, està relacionat amb el control longitudinal i lateral del vehicle i té doncs una escala temporal de milisegons o segons. En realitat el comportament que es defineix amb l'estratègia i la tàctica del desplaçament està directament sota control d'aquest nivell [Mic79].

Aquests tres nivells jeràrquics estan basats i, per tant, estretament relacionats amb els tres nivells de comportament humà que va definir Rasmussen: [Ras83]

- *Nivell basat en el coneixement.* L'execució està marcada pels objectius o metes personals i no existeixen regles prèvies per a definir el comportament. Es fan plans i experiments mentals fent servir els coneixements que es tenen emmagatzemats. Es correspon amb el nivell estratègic.
- *Nivell basat en regles.* Ací el comportament està controlat per normes o regles que han sigut adquirides prèviament d'altres persones (professors, instructors, pares, etc.) o mitjançant aprenentatge empíric. Està relacionat directament amb el nivell tàctic.
- *Nivell basat en les habilitats.* En aquest nivell es troben les habilitats que han sigut molt practicades i que l'ésser humà fa de manera inconscient i automàtica. Es correspon amb el nivell operatiu.

2.5 Mètodes per al mesurament de la tasca de conducció

Els investigadors de trànsit i seguretat viària fan servir diferents tècniques per tal d'extraure mesures i avaluar el comportament dels conductors. En [MS09] s'enumeren diversos mètodes per al mesurament de la conducció. Tot i això, cal afegir a aquests mètodes la simulació de conducció. Aleshores, el conjunt de mètodes de mesurament de la conducció queda de la següent manera:

- Estudis transversals o de prevalença.
- Estudis a la vora de la carretera.
- Estudis quasiexperimentals.
- Estudis en carretera.

- Estudis mitjançant simulació de conducció.

Per altra part, també cal incloure a la classificació exposada en [MS09] els *Field Operational Tests* (FOT) i les proves en circuit tancat com a d'altres tipus d'estudi en carretera.

2.5.1 Estudis transversals o de prevalença

Un estudi transversal és un estudi estadístic i demogràfic que té com a objectiu identificar la prevalença i l'efecte de l'exposició a un determinada condició d'un grup d'individus en un període de temps. Es poden fer nombrosos tipus d'estudi de prevalença en l'àmbit del trànsit i la seguretat viària, com ara ús del telèfon mòbil o d'altres dispositius mentre es condueix, mitjà de transport que s'utilitza habitualment, hores de conducció continuada, alcohol, drogues, etc. Tenen el greu inconvenient que els participants poden no dir la veritat en les seues respostes en contestar allò que pensen que és més correcte socialment.

2.5.2 Estudis a la vora de la carretera

Són estudis observacionals de les actituds dels conductors que es fan des de fora però al costat de la carretera. Freqüentment s'utilitza vídeo per tal d'enregistrar les observacions i fer posteriorment una anàlisi més exhaustiva de les imatges. Presenten l'inconvenient que habitualment no es poden inferir les característiques i l'estat del conductor i del vehicle mitjançant l'observació.

2.5.3 Estudis quasiexperimentals

Un estudi quasiexperimental és un estudi semblant a l'experimental però sense fer aleatorització del subjectes en els grups de tractament i control o bé no existeix un grup control. Es fan servir tres tipus d'estudis quasiexperimentals:

- *Estudis cas-control.* Són estudis en el quals es comparen dos grups de gent diferent que se seleccionen en funció de si tenen (casos) o no tenen (controls) un determinat efecte o resultat. La comparació consisteix a investigar si van ser exposats o no a una característica d'interés. Poden proporcionar informació sobre els riscos d'un resultat (un accident per exemple) associat amb una exposició d'interés (com ara un determinat tipus de distracció) [MS09].
- *Estudis de casos encreuats.* Són una variant dels estudis cas-control en els quals els casos i els controls són els mateixos subjectes. Es pot citar com a mostra d'aquest tipus d'investigació l'estudi de l'accidentalitat (resultat) d'un determinat grup de conductors professionals en funció de si estaven utilitzant o no el telèfon mòbil en el moment de l'accident (exposició).
- *Estudis de cohort.* Un estudi de cohort consisteix en el seguiment de diversos grups d'individus que estan diferenciats pel seu grau d'exposició per tal d'avaluar un determinat resultat. La investigació de l'accidentalitat (resultat) d'un determinat grup de conductors professionals en funció de les hores de son (exposició) és un exemple d'estudi de cohort.

2.5.4 Estudis en carretera

Els estudis en carretera són la manera més realista de fer un experiment de conducció perquè consisteixen en la conducció pel subjecte experimental

d'un automòbil real. És necessari que el vehicle estiga instrumentalitzat, és a dir, que incloga un conjunt de sensors capaços de mesurar diversos paràmetres sobre el comportament del conductor, el vehicle i el seu voltant (velocitat, acceleració, ús d'intermitents, distàncies a la resta de vehicles, temperatura exterior i interior, paràmetres oculars, etc.). Alguns vehicles instrumentalitzats disposen de càmeres per a la gravació de les escenes de conducció des de diferents punts de vista. També és possible que incloguen un sistema de moviments oculars per tal d'identificar diversos paràmetres oculars del conductor (direcció de la mirada, freqüència de parpelleig, dilatació de la pupil·la, etc.).

Es poden diferenciar tres tipus d'estudis en carretera: [YRL09]

- *FOT (Field Operational Tests)*. Estan dissenyats per a mesurar, sota condicions de conducció normal la interacció dels conductors amb un o més sistemes intel·ligents de transport (ITS) embarcats al vehicle. Normalment impliquen activar o desactivar els sistemes durant l'estudi [YRL09].
- *Conducció Naturalística*. Es basa en l'observació del comportament del conductor d'una manera no intrusiva i en un entorn natural per a ell. Es diferencien dels FOT en els següents punts: [YRL09]
 - Poden avaluar o no ITS embarcats.
 - Amb més freqüència el vehicle conduït és propietat del subjecte experimental. Així doncs, en els experiments naturalístics més purs el subjecte experimental condueix el seu propi vehicle.
 - No hi ha un experimentador que controle la prova des de dins o fora del vehicle.
 - No s'han d'obeir instruccions perquè es facen diferents tasques secundàries durant la conducció.
 - Es desenvolupa durant un període més llarg de temps.

- *Proves en circuit tancat.* Són estudis que es fan en carreteres tancades o circuits dedicats, fet que fa que siguin bastant més curtes que els dos tipus d'estudi anteriors. Davant l'experimentació en una carretera real i oberta tenen l'avantatge que són proves més segures i controlades, així i tot, presenten l'inconvenient que són menys naturals i arpleguen una quantitat molt menor de dades.

2.5.5 Estudis mitjançant simulació de conducció

Els simuladors de conducció suposen una eina extremadament útil per a l'avaluació del conductors ja que permeten fer experiments en un entorn controlat, segur i sovint molt realista. Òbviament, la temàtica de la present tesi doctoral està íntimament relacionada amb aquests, fet pel qual se'ls dedicarà completament el següent capítol.

2.6 TICS, ITS, IVIS i ADAS

L'acrònim TICS (*Transport Information and Control Systems*) fa referència al conjunt de sistemes informàtics relacionats amb l'organització, el control i la informació del trànsit. També s'utilitzen amb similar o fins i tot superior freqüència les sigles ITS (*Intelligent Transport Systems*) per a anomenar els mateixos sistemes.

Altrament, no tots els sistemes TICS integren capacitats de telecomunicacions. El conjunt de TICS que sí integren aquestes funcionalitats s'anomena habitualment Telemàtica del Transport.

TAULA 2.2: Serveis TICS fonamentals [FS97]

Categoria	Servei
Informació del trànsit i els desplaçaments	<ul style="list-style-type: none"> Informació previatge Informació al conductor durant el viatge Informació de transports públics durant el viatge Serveis d'informació personal Guiatge de ruta i navegació
Gestió del trànsit	<ul style="list-style-type: none"> Suport a la planificació del transport Control del trànsit Gestió d'incidents Gestió de la demanda de mobilitat Supervisió/reforçament de normes de trànsit Gestió del manteniment d'infraestructures
Relacionats amb el vehicle	<ul style="list-style-type: none"> Millora de la visió Funcionament automàtic del vehicle Alerta de col·lisió longitudinal Alerta de col·lisió lateral Servei d'alertes de seguretat Activació de restriccions abans d'impactes

Vehicles comercials	<ul style="list-style-type: none"> Preautorització de vehicles comercials Processos administratius dels vehicles comercials Inspecció de seguretat automàtica en carretera Monitorització de la seguretat a bord dels vehicles comercials Gestió de flotes de vehicles comercials
Transport públic	<ul style="list-style-type: none"> Gestió del transport públic Gestió del transport compartit
Gestió d'emergències	<ul style="list-style-type: none"> Notificació d'emergències i seguretat personal Gestió d'emergències al vehicle Notificació de materials perillosos i incidents
Pagament electrònic	<ul style="list-style-type: none"> Transaccions financeres electròniques
Seguretat	<ul style="list-style-type: none"> Seguretat en els viatges públics Millora de la seguretat d'usuaris vulnerables de la via Encreuaments intel·ligents

L'organització ISO va estandarditzar una classificació dels TICS en huit categories diferents en funció de quins serveis presten [fS97] (vegeu la taula 2.2). Així mateix, un important aspecte que permet fer una altra classificació dels sistemes TICS és el fet d'estar embarcats o no al vehicle, és a dir, el fet d'estar instal·lats dins del vehicle o formar part de la infraestructura viària. A més a més, en funció del tipus de servei que proporcionen es diferencien dos grups de TICS embarcables:

- *ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)*. Els sistemes d'ajuda avançada a la conducció són aquells sistemes informàtics que interactuen amb el conductor i li proporcionen assistència en els nivells operatiu i tàctic de la tasca de conducció [Men08]. Els sistemes ABS (*Anti-Lock Brake System*) i ESP (*Electronic Stability Program*) són exemples d'aquests sistemes.
- *IVIS (In-Vehicle Information Systems)*. Els sistemes d'informació dins del vehicle són sistemes informàtics que interactuen amb el conductor per proporcionar-li informació que no està directament relacionada amb els nivells operatiu i tàctic de la tasca de conducció [Men08]. Exemples d'IVIS són el GPS, el telèfon mòbil, la ràdio, etc.

Així doncs, de les darreres definicions es desprén que els ADAS ajuden a la tasca primària de conducció mentre que els IVIS introdueixen una tasca secundària, la qual cosa pot interferir amb la conducció [Men08].

Capítol 3

Simuladors de Conducció

3.1 Història de la Simulació de Conducció

En un sentit extens es pot dir que la història de la simulació de conducció va començar a principis del segle XX quan es van desenvolupar els primers tests electromecànics per a avaluar les habilitats i les capacitats dels conductors. La major part d'aquests primers simuladors estaven basats en una cinta transportadora on s'anaven col·locant estímuls que apareixien i desapareixien del camp de visió dels subjectes a mesura que la cinta es movia. Posteriorment es van millorar aquests equips i es va augmentar el realisme introduint models a escala d'automòbils i pintant les cintes transportadores simulant carreteres [DGSK96].

En la dècada dels anys trenta es van utilitzar sistemes basats en cabines de vehicles reals on es visualitzaven escenes mòbils generades mitjançant dispositius mecànics. Amb aquests sistemes es pretenia avaluar certes habilitats en la conducció: temps de reacció, girs, velocitat, etc.[DGSK96]

En la dècada dels anys cinquanta va sorgir una tecnologia que es basava en la utilització de fonts de llum puntual o projecció d'ombres. En els simuladors que feien servir aquesta tecnologia s'emprava un disc de metacrilat d'un metre de diàmetre aproximadament, a la superfície del qual es col·locaven les línies i d'altres elements a escala de la carretera i el seu entorn. Mitjançant una font de llum puntual aquests elements apareixien com a siluetes fosques davant d'un fons brillant que simulava la carretera. El subjecte se situava a la cabina d'un vehicle on podia controlar els seus comandaments bàsics: amb l'accelerador i el fre s'augmentava o disminuïa la velocitat de gir del disc i amb el volant es modificava el moviment angular del disc simulant el desplaçament lateral [BAF73].

També en aquesta dècada es va implantar un tipus diferent de sistemes que es basaven en l'ús de pel·lícules de vídeo. S'utilitzaven seqüències de vídeo filmades des del punt de vista del conductor que mostraven recorreguts per carretera i reproduïen els sons associats. Els subjectes s'asseien en una cabina real o en una maqueta de cabina on tenien els comandaments del vehicle, encara que aquests no modificaven les escenes que s'estaven visualitzant [Wac95]. Una dècada abans a la Universitat de Berkely ja s'havia construït un dispositiu amb aquestes característiques.

Un dels sistemes més significatius que es va desenvolupar usant aquesta tecnologia va ser el Drivo-Trainer de la companyia Aetna Life and Casualty. Una sala de simulació de Drivo-Trainer tenia quinze llocs de conducció que estaven situats enfront d'una pantalla de projecció (vegeu figura 3.1). Aquest simulador va ser àmpliament utilitzat a les classes de conducció dels Estats Units i posteriorment la mateixa empresa va desenvolupar un altre sistema encara que basat en pel·lícules en color, l'anomenat Roadometer (vegeu figura 3.2).

No va ser fins la dècada dels anys seixanta que es va començar a generalitzar l'ús dels sistemes de simulació basats en pel·lícules i en fonts de llum puntual. Aquests equips es van utilitzar en diferents empreses del sector de l'automoció i uns altres organismes. Així mateix, durant aquells



FIGURA 3.1: Aula de simulació amb Drivo-Trainer

anys es van començar a fer estudis sobre diferents aspectes de la seguretat viària (alcohol, drogues, percepció de velocitat, etc.)[DGSK96].

L'any 1970 es comptabilitzaven ja 28 simuladors de conducció en funcionament a tot el món [HW72]. En aquesta mateixa dècada es van incorporar millores als sistemes de simulació basats en projecció d'imatges, de manera que la interacció del conductor amb els comandaments del vehicle tinguera algun efecte en les escenes que s'estaven visualitzant. En aquest context, un dels primers avanços que es van fer va ser el canvi de velocitat en la reproducció del vídeo en funció de la pressió que s'exercia sobre els pedals d'acceleració i frenada. Un altra millora va ser l'enregistrament de les seqüències de conducció des de diferents vehicles per a permetre que en la simulació es poguera canviar de carril en manipular el volant i també es filmaven diferents rutes perquè el subjecte poguera triar quin camí volia seguir [DGSK96].



FIGURA 3.2: Aetna Roadometer

La tecnologia de simulació basada en imatges de vídeo estava molt limitada: no existia interacció entre el comportament del subjecte i el comportament del trànsit. Era necessari introduir models sintètics de l'entorn de la carretera per obtenir un alt grau d'interactivitat [Wac95].

En la dècada dels anys setanta es va generalitzar l'ús de simuladors basats en models de terreny. En aquests sistemes es disposava d'una maqueta de la carretera i del seu entorn de manera que els vehicles es movien mitjançant un sistema mecànic i es disposava d'una càmera de vídeo que es desplaçava per damunt de tota la maqueta per visualitzar el punt de vista del conductor. Tot el sistema estava controlat per ordinador [DGSK96].

Des del principi de la dècada dels vuitanta es va començar a utilitzar imatges generades per ordinador en els simuladors. Al principi aquestes imatges eren molt senzilles i amb poc detall i qualitat, però amb l'evolució



FIGURA 3.3: HYSIM: vista des de l'interior del vehicle

del maquinari i el programari gràfic es va arribar a la utilització d'imatges fotogràfiques. Un exemple de simulador desenvolupat en aquesta època és el HYSIM (*HighWay Driving Simulator*) als Estats Units (vegeu figura 3.3). El laboratori de Factor Humà de l'FHWA (*Federal HighWay Administration*) va començar a utilitzar-lo des de principis d'aquella dècada.

En la dècada dels anys noranta disposar d'un sistema de simulació de mitjà o alt nivell que permetera generar models basats en imatges fotogràfiques tenia un cost elevat, atès que els ordinadors personals d'aquella època no aconseguien la freqüència d'imatges necessària perquè la simulació fóra realista i, per tant, calia l'ús de potents estacions de treball gràfiques. La freqüència d'imatges desitjable s'estableix normalment al volant de 25 imatges per segon en el cas de la simulació de conducció.

Hui dia la situació és que l'evolució del programari i el maquinari gràfic

ha fet que molts dels sistemes de simulació estiguen basats en ordinadors personals, tant els de baix cost com els de mitjà i alt nivell.

3.2 Tipus de Simuladors de Conducció

En l'actualitat existeixen multitud de simuladors de conducció de diferents tipus distribuïts arreu de tot el món. Podem fer una classificació dels simuladors de conducció atenent a diferents criteris.

Segons el seu nivell, fidelitat o cost es classifiquen en: [Sal00]

- *Simuladors de baix nivell.* Estan associats a sistemes basats en ordinadors personals que inclouen volant, pedals i un sistema de visualització senzill (un o diversos monitors per exemple).
- *Simuladors de mitjà nivell.* Inclouen una cabina de conducció que pot ser una maqueta o un cotxe real. Normalment el seu sistema de visualització està basat en una gran pantalla amb diversos projectors que abraça un camp de visió ample. Algunes vegades tenen una plataforma mòbil senzilla.
- *Simuladors d'alt nivell.* Similars als de mitjà cost però afegint una plataforma mòbil per a la simulació de les inèrcies del vehicle (acceleracions, frenades, girs, etc.) i augmentant el camp de visió fins a valors propers als 360°. El NADS (*National Advanced Driving Simulator*) de la Universitat d'Iowa és un exemple de simulador d'alt cost (vegeu figura 3.4).

Segons el seu propòsit es classifiquen en:

- *Simuladors d'entrenament.* Quan el seu ús persegueix objectius educatius. Se solen fer servir en els següents camps:



FIGURA 3.4: Vista exterior del NADS

- Aprenentatge de conductors novells en autoescoles.
 - Aprenentatge de conductors discapacitats.
 - Entrenament en situacions de trànsit perilloses.
 - Aprenentatge de tècniques de conducció econòmica.
- *Investigació.* Quan es pretén analitzar i avaluar els conductors, els vehicles o les infraestructures. Alguns exemples d'utilització són:
 - Avaluació de conductors.
 - Avaluació de conductors discapacitats.
 - Avaluació de la influència d'alcohol, drogues o medicaments en la conducció.
 - Avaluació de nous prototips d'automòbils.
 - Avaluació de Sistemes Avançats d'Ajuda a la Conducció (ADAS).

- Avaluació de Sistemes d'Informació al Vehicle (IVIS).
- *Oci*. Inclou tots els videojocs de PC o consola i els simuladors de les sales recreatives. Si bé, per a ser considerats estrictament com a simuladors de conducció han d'incloure almenys un volant de joc.

3.3 Fidelitat dels Simuladors

Com s'ha vist en la secció anterior els simuladors de conducció poden variar amplament en funció del seu cost o nivell. Açò afecta directament el seu realisme, és a dir, la fidelitat que tenen per a modelar el món virtual i la dinàmica del vehicle. El cost o nivell del simulador també afecta la validesa per a mesurar els paràmetres adients en cada experimentació. Per tant, si es vol obtindre els resultats esperats l'elecció de quin tipus de simulador desenvolupar o utilitzar ha d'estar basada no només en els costos sinó també en el tipus d'experimentació que s'ha de realitzar .

Es pot mesurar la fidelitat d'un simulador atenent a dues característiques: [AGA80]

- *Fidelitat de l'equipament*. Fa referència al grau de realisme que té el lloc de conducció. És a dir:
 - Que la grandària, forma, color i localització dels comandaments i la cabina de conducció siguin similars als d'un vehicle real.
 - Que les respostes del comandaments del vehicle a les accions del conductor siguin realistes (forces de retorn del volant, accelerador, fre, embragatge, etc.).
- *Fidelitat de l'entorn*. L'entorn representa el món virtual pel qual el subjecte condueix. Inclou els gràfics, el so i la dinàmica del vehicle conduït, el comportament del trànsit i el comportament dels avatars de l'entorn.

Conseqüentment, la fidelitat es defineix en termes del grau de concordança entre les característiques del simulador (equipament i entorn) i les d'un vehicle real [RMR95]. D'altra banda, es pot fer una diferenciació subtil entre la fidelitat mesurada objectivament i la percebuda pel subjecte experimental. En funció d'açò es distingeixen dos tipus de fidelitat: [AGA80]

- *Fidelitat objectiva.* Es correspon amb la fidelitat des del punt de vista de l'enginyeria. És el grau que un simulador reproduïx el vehicle real en termes de dinàmica temporal i sincronització.
- *Fidelitat perceptual.* Proporciona un punt de vista psicològic i fisiològic. És la percepció per part del conductor del grau de realisme que té el simulador.

3.4 Validesa dels Simuladors

La validesa d'un simulador es defineix com el grau de correspondència entre el comportament d'un individu en el simulador i el comportament en un entorn real amb les mateixes condicions [KTvdH96],[Bla82]. Per a mesurar la validesa d'un simulador de conducció la millor forma de fer-ho és comparar els resultats de la conducció en el simulador i en un cotxe real fent les mateixes tasques de conducció [Bla82]. S'han fet nombrosos estudis per tal de mesurar-la i els resultats han donat bones correlacions entre la conducció real i la virtual [Bla82][EJs05][KTvdH96].

Harms, L. va diferenciar dos tipus de validesa: [Har92]

- *Validesa absoluta.* Quan els resultats obtinguts en el simulador i en el món real són idèntics o pràcticament idèntics.

- *Validesa relativa.* Quan existeix un elevat grau de correspondència entre els valors obtinguts en el simulador i en el vehicle real. És a dir, que les mateixes tasques de conducció afecten d'una manera semblant els dos.

En principi els simuladors de conducció que tenen més fidelitat són més realistes i tenen més validesa que el simuladors amb fidelitat més baixa, així i tot, són bastant més cars i menys sensibles als efectes de la distracció [EJs05]. Hi ha diversos estudis que corroboren aquesta afirmació. Per exemple, Burnett et al. [BIM07] demostraren que la validesa d'un simulador de conducció era major en utilitzar una cabina de cotxe real que en fer servir només un quadre d'instruments. Nogensmenys, uns altres autors han demostrat que els nivells de validesa són similars entre simuladors amb diferents graus de fidelitat.

Tots aquests estudis estan condicionats per les característiques concretes dels simuladors que s'estan avaluant. Per tant, el que sí es pot afirmar és que s'ha d'estudiar la validesa de cada simulador en concret ja que no està realment demostrat que fidelitat i validesa estiguen fortament correlacionats.

3.5 Sensibilitat dels Simuladors

La sensibilitat d'un simulador és l'habilitat de detectar menuts canvis en l'execució de la tasca de condició. Sorprenentment, hi ha estudis que han demostrat que els simuladors, tant d'alta com de baixa fidelitat, són més sensibles a l'execució de tasques secundàries que les proves reals en carretera [Bla82],[RF99],[AAA⁺06]. Existeixen diverses teories que intenten explicar aquest fenomen però cap d'elles està demostrada.

3.6 Programari dels Simuladors de Conducció

Com es va comentar anteriorment, la simulació de conducció està basada actualment en la utilització d'ordinadors que generen imatges sintètiques per a modelar l'entorn visual observat pel conductor. Un altre tipus d'aproximacions basades en la utilització d'imatges de vídeo projectades ja van ser abandonades fa molt de temps a causa de les limitacions d'interactivitat entre el subjecte i l'entorn que és inherent en aquest tipus de sistemes.

Òbviament, el programari d'un sistema de simulació de conducció no es redueix únicament a la generació dels models visuals 3D, sinó que està format per un conjunt de mòduls que s'encarreguen de realitzar diferents tasques. A la figura 3.5 es pot veure els mòduls i el flux normal de la informació entre ells. Aquesta divisió del programari en mòduls es basa principalment en la feta en [Fer98] encara que amb significatives modificacions. Tots ells es detallen en els apartats següents.

3.6.1 Mòdul de visualització

S'encarrega de generar les imatges de l'entorn virtual. Aquesta és la part crítica del sistema puix que, com es va dir anteriorment, cal generar les imatges en temps real amb una freqüència adequada. Antigament es necessitaven costosos ordinadors dotats de maquinari específic per a la generació de gràfics. Ara per ara existeixen potents targetes gràfiques per a ordinadors personals que permeten aconseguir freqüències de visualització adequades.

Per a la generació del codi visual del simulador de conducció s'utilitzen llibreries gràfiques. Una de les llibreries que més es va fer servir en les passades dècades va ser OpenGL Performer de Silicon Graphics Inc. (SGI). Performer és una llibreria comercial basada en OpenGL que permet la

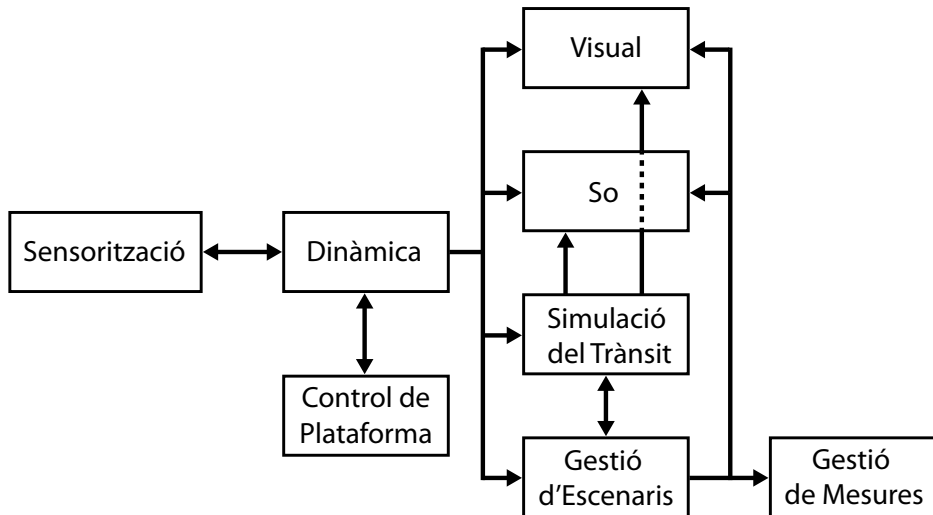


FIGURA 3.5: Flux habitual d'informació entre els mòduls d'un sistema de simulació

generació d'imatges en temps real. Està fonamentada en l'abstracció de l'entorn visual en un graf d'escena que conté nodes que representen els models 3D. Actualment existeix un projecte de codi obert que segueix la filosofia d'OpenGL denominat OpenSceneGraph (OSG). OSG és una llibreria gràfica que ha aconseguit un alt grau d'utilització desplaçant a algunes llibreries comercials utilitzades amb anterioritat. Una altra eina de creació d'entorns 3D que es fa servir hui dia és Unity. Unity disposa d'una API (*Application Interface*) que permet accedir a la jerarquia de nodes, però a més inclou un llenguatge de programació de scripts i nombrosos scripts ja programats (actors virtuals, simulacions físiques, animacions, models d'ombres configurables, etc.).

3.6.2 Mòdul de simulació dinàmica

Integra els diferents algorismes necessaris per a la simulació del comportament dinàmic del vehicle conduït. Aquests algorismes estan basats en lleis físiques i la seua complexitat dependrà del tipus, del cost i de quin ús es vulga donar al simulador [Fer98].

En cada cicle de simulació (cada imatge generada) el mòdul visual obtindrà la posició i l'orientació del vehicle de les eixides que li done el mòdul dinàmic. Per al càlcul d'aquestes dades el mòdul dinàmic ha de llegir, entre d'altres, la informació dels comandaments del vehicle: volant, pedals, fre de mà i canvi de marxes bàsicament. Aquestes dades són proporcionades pel mòdul de sensorització.

3.6.3 Mòdul de sensorització

És l'encarregat de la lectura de les dades dels comandaments del vehicle. Tal com s'ha dit anteriorment en els simuladors d'alt i mitjà nivell es disposa d'una cabina de conducció real o un model d'aquesta, en aquest tipus de simuladors és desitjable sensoritzar pràcticament tots els comandaments del lloc de conducció.

A més d'ocupar-se de gestionar l'eixida de dades dels sensors instal·lats a la cabina, aquest mòdul rep entrades d'altres mòduls que cal traduir en l'actualització d'alguns elements visuals del tauler de control: velocímetre, compta-revolucions, llums indicadors, etc.

3.6.4 Mòdul de control de plataforma

En els simuladors d'alt cost es disposa generalment d'una plataforma mòbil per a la simulació de les forces que es generen al vehicle. L'ús de

plataformes mòbils en la simulació de conducció és en principi beneficiós per a incrementar la sensació d'immersió del subjecte dins de l'entorn virtual.

Tanmateix, una programació inadequada del mòdul de control pot augmentar el fenomen de mareig del simulador [Ken95]. En aquest sentit, hi ha diversos treballs que se centren en la millora dels algorismes de control dels moviments de la plataforma amb l'objectiu de proporcionar sensacions més realistes als usuaris i optimitzar el procés de configuració del mòdul, com l'estudi fet per Casas [Cas14].

Aquest mòdul arreplega les dades del mòdul dinàmic i mitjançant algorismes complexos els transforma en diferents posicions dels braços de la plataforma mòbil. D'aquesta manera se simulen les forces provocades per les acceleracions, frenades i girs que es produeixen en la conducció.

3.6.5 Mòdul de so

En aquest mòdul es troben els algorismes per a la generació del so del vehicle conduït i dels vehicles que l'envolten. Les targetes de so actuals permeten generar so 3D d'alta qualitat incloent efectes Doppler. L'efecte Doppler és l'aparent canvi de freqüència de l'ona sonora d'un objecte en moviment respecte a l'observador, aquest efecte és especialment important en els simuladors de conducció on el vehicle conduït està envoltat de fonts sonores en moviment (la resta de vehicles).

Per a la generació del so del vehicle conduït es pren com a entrada les eixides del mòdul dinàmic. Per altra part, per a la generació del so dels vehicles circumdants les dades provenen dels mòduls de gestió d'escenaris i de gestió del trànsit.

3.6.6 Mòdul de simulació del trànsit

Perquè un simulador de conducció pugui complir els objectius pels quals es va dissenyar (oci, aprenentatge o investigació) és desitjable que simule el trànsit que envolta el vehicle conduït de manera realista. Per aconseguir açò existeixen dues tècniques:

1. *Simulació cooperativa.* Aquesta tècnica fa referència als sistemes en els quals diversos subjectes estan conduït pel mateix món virtual al mateix temps, per tant ofereix un elevat grau de realisme. Nogensmenys, presenta l'inconvenient que és necessari un determinat nombre de conductors per tal que el trànsit siga realista (un gran nombre de conductors si la conducció és urbana). A més, com a conseqüència de tindre vehicles conduïts per humans, és materialment impossible repetir exactament les mateixes condicions de trànsit en diferents sessions de conducció, característica desitjable en moltes proves experimentals.
2. *Simulació del trànsit.* Aquesta tècnica es basa en la utilització d'algorismes per a la creació de trànsit sintètic. Aquests algorismes han d'estar dissenyats de manera que els vehicles es comporten de manera autònoma i "intel·ligent" davant la resta de vehicles (incloent el propi vehicle conduït) i davant els elements del trànsit (senyals, semàfors, encreuaments, etc.) [Fer98].

3.6.7 Mòdul de gestió d'escenaris

Existeix un mètode d'avaluació de conductors poc elaborat que únicament avalua les característiques més simples de la conducció, això és, la destresa o l'habilitat dels conductors. Aquest mètode s'utilitza principalment en alguns simuladors de conducció orientats a l'aprenentatge.

No obstant això, existeix un altre mètode d'avaluació que es basa en la definició d'escenaris de conducció. Aquest mètode permet l'avaluació del comportament del subjecte davant determinades situacions prèviament dissenyades. Mitjançant la divisió de l'experiment en una sèrie de situacions o escenaris de conducció s'aconsegueix que les condicions prèvies en cadascuna d'elles siguin pràcticament les mateixes per a tots els subjectes i d'aquesta forma es poden establir criteris de comparació entre subjectes o grups de subjectes.

Per a cada escenari de conducció cal definir els següents paràmetres:

- *L'àmbit d'existència.* El més habitual és relacionar el període d'existència d'un escenari amb un tram de la via (criteri espacial), encara que també és possible assignar-li un període de vida basat en criteris temporals.
- *El comportament del trànsit.* Es poden definir dos tipus de vehicles: autònoms i totalment controlats (aquells que fan exactament allò que es vol que facen). S'ha de tindre en compte també el comportament d'altres elements dinàmics com vianants o animals.
- *L'estat dels elements dinàmics de la via.* Com ara semàfors (color, freqüència i duració), barreres (alçades o baixades), panells de missatges variables (missatges i pictogrames), etc.
- *Les condicions atmosfèriques i de visibilitat.* Hora del dia, pluja, boira, etc.
- *Les mesures de la conducció.* Quines mesures serà interessant enregistrar en cada situació.

3.6.8 Mòdul de gestió de mesures

En primer lloc, aquest mòdul és l'encarregat de controlar el procés de presa de dades instantànies sobre l'execució del subjecte en el simulador (velocitat, desplaçament lateral, etc.). Com que moltes d'elles es prenen en cada cicle de simulació, en funció de la duració de la prova la quantitat total de dades pot ser molt gran. Açò suposava antigament un problema, ja que les capacitats del dispositius d'emmagatzemament secundari eren baixes i moltes vegades era necessari fer una depuració per tal de reduir el nombre de dades.

En segon lloc, mitjançant els algorismes adients, el mòdul de gestió de mesures realitza el post-procés de les dades arreplegades per a calcular les mesures d'execució. Aquestes mesures poder fer referència a tot recorregut de la prova (mesures genèriques) o únicament a una situació de conducció determinada (mesures específiques).

3.6.9 Mòdul de comunicació i sincronització

És el mòdul que controla l'execució de la resta de mòduls. S'encarrega de comunicar els mòduls entre ells i assegurar la seua correcta sincronització.

Normalment el codi d'aquest mòdul està repartit entre els diferents components del sistema, si bé també pot estar centralitzat en un únic element [Fer98].

3.6.10 Base de dades Correlacionada

La generació de totes les dades que ha d'incloure un simulador de conducció és una tasca complexa, atès que es tracta de components heterogenis que, tot i això, han de compartir una estructura bàsica comuna i estan lligats

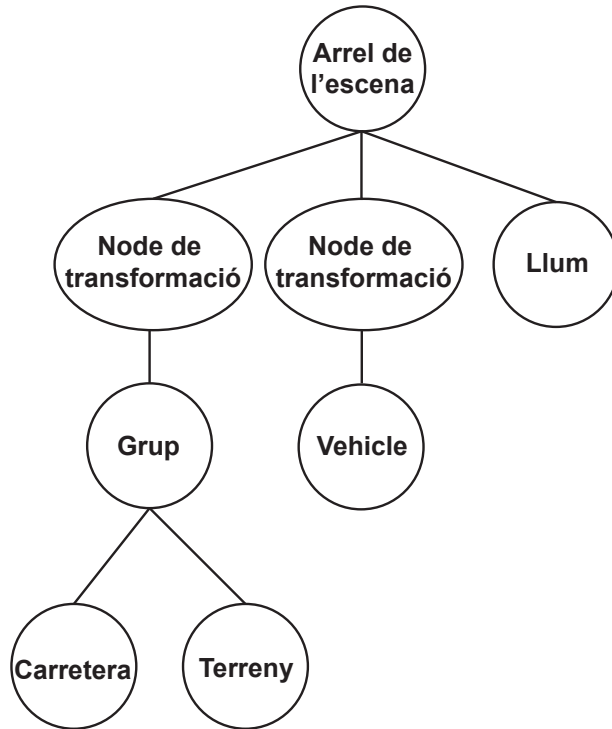


FIGURA 3.6: Exemple d'arbre de representació d'una escena

per multitud de relacions [BPCF98]. Per aquesta raó es va anomenar a aquest tipus d'estructura base de dades correlacionada [Eva94].

Els nivells de dades que hauria de suportar la base de dades correlacionada són els següents: [Bay95]

- *Nivell de dades visual.* En aquest nivell s'especifica la informació visual de l'escena virtual, és a dir, la seua geometria (polígons), les textures associades als polígons, els llums, els fenòmens atmosfèrics

i artificials (pluja, neu, boira, foc, vent, etc.) i d'altres elements visuals. En la majoria de les llibreries gràfiques orientades a la visualització en temps real que existeixen en l'actualitat aquesta informació s'emmagatzema de manera jeràrquica (vegeu figura 3.6). Aquesta organització facilita el procés de generació d'imatges.

- *Nivell de dades topològic.* Conté les dades de la topològica de la via per la qual discorre la simulació. Aquesta informació inclou:
 - *El traçat 3D de les carreteres.* La forma de la carretera es defineix habitualment mitjançant tres capes: la planta o curvatura, el perfil o pendent i el peralt.
 - *Les connexions entre cada tram.* Com ara interseccions, incorporacions, eixides, etc.
 - *Les característiques del paviment.* Inclou principalment el coeficient de fregament de cada tram de la carretera.
- *Nivell de dades de dinàmica.* Aquest nivell inclou la informació necessària per a simular la dinàmica del vehicle conduït. És a dir, tant les dades referents al propi vehicle (potència, relació de marxes, etc.) com les referents a la via (aigua, gel, clots, etc.). En aquells simuladors en els quals la dinàmica del vehicle conduït segueixca un model dinàmic simplificat només s'utilitzarà la informació del nivell topològic i s'obviarà la informació de l'estat de la via [Fer98]. Així mateix, en el cas dels vehicles de l'entorn no és necessari seguir tampoc un model dinàmic complex i habitualment s'empren models cinemàtics.
- *Nivell de dades de Regles de Trànsit i Elements Actius de la Conducció.* Aquest nivell conté cert tipus d'informació referent als senyals de la via (semàfors, senyalització horitzontal i vertical, etc.) i també als factors atmosfèrics i de lluminositat o a l'hora del dia. Òbviament, la representació visual d'aquests elements es troba al nivell visual de la base de dades correlacionada, en aquest nivell

únicament s'emmagatzema la lògica dels elements pel que fa al trànsit i la conducció.

- *Nivell de dades d'especificació d'escenaris i proves.* És el nivell que inclou la descripció dels escenaris de conducció i de la prova general, així com l'enumeració de les mesures d'execució que s'han de prendre. Aquest nivell de dades es basa en tots els anteriors ja que en l'especificació d'un escenari de conducció conflueixen tots els elements presents en el sistema de simulació (escenes, dinàmica, trànsit, etc.).

3.7 Simuladors com a eines d'investigació

Al marge de l'ús dels simuladors de conducció com a element d'oci, la seua utilització com a eina d'investigació o d'aprenentatge està justificada per diversos avantatges, principalment:

- *Seguretat.* Els simuladors de conducció permeten la realització d'experiments en un entorn prou realista, controlat i segur. Existeixen determinats tipus de proves o experiments que en realitzar-los en la vida real comporten cert grau de perill, que pot arribar a ser molt elevat en determinades ocasions. Com a exemples de proves que, atenent a qüestions de seguretat, és recomanable fer en simuladors de conducció es pot citar:
 - Conducció sota els efectes de l'alcohol o les drogues.
 - Ús del GPS i el mòbil.
 - Aprenentatge en situacions de perill.
- *Reducció de costos.* Generalment resulta més econòmic utilitzar un simulador que fer experiments de camp (conducció real), no només pel que fa a realització de la prova o l'experiment en ell mateix, sinó

també pel que fa a la presa de mesures. En un simulador resulta molt més econòmic i precís prendre cert tipus de mesures que en una prova real, un exemple clar són aquelles mesures que tenen a veure amb la posició sobre la carretera del vehicle conduït i la resta vehicles (desplaçament lateral sobre el carril, orientació, distàncies entre vehicles, etc.).

- *Viabilitat.* La simulació permet avaluar diferents elements que no poden ser avaluats en la vida real, bàsicament perquè encara no han estat creats o implantats, o perquè és difícil o impossible reproduir-los en el moment de la prova. Alguns d'aquests elements són:
 - Diferents traçats de carreteres.
 - Diferents condicions atmosfèriques i de lluminositat.
 - Nova senyalització.
 - Prototipus d'automòbils.
 - Nous sistemes ADAS i IVIS.
 - Situacions de trànsit específiques.

Altrament, l'ús del simulador com a eina d'experimentació i aprenentatge té també alguns desavantatges, com ara: [YRL09]

- *Problemes en les dades.* La recollida correcta de les dades està directament relacionada amb el grau d'experiència que es tinga en l'ús del simulador i amb la sensació que té el subjecte experimental d'estar essent avaluat.
- *Alt cost d'instal·lació i gestió.* Diverses parts dels simuladors són particularment costoses d'instal·lar i gestionar ja que requereixen de professionals altament qualificats (plataforma mòbil, sistemes de projecció, sensorització, etc.).

- *Mareig del Simulador.* Aquest és un fenomen particularment comú entre les persones velles i les dones, i pot afectar greument en l'execució de la tasca de conducció i en la fiabilitat de les mesures que es prenen. Seguidament es dedicarà una secció sencera a l'explicació d'aquesta qüestió.
- *Sensació de conducció virtual.* És uns dels aspectes més problemàtics de la simulació. Com que els subjectes se n'adonen que no estan conduint un cotxe real, no condueixen de la mateixa manera que ho farien en la vida normal, ja que saben que la seua seguretat no està compromesa per un accident. Per tant, és important desenvolupar simuladors de conducció que afavoreixen la sensació d'estar conduint un vehicle de veritat.

3.8 Mareig del Simulador

El mareig del simulador és un fenomen similar a la cinetosi (mareig del viatger) que és experimentat per un determinat percentatge de subjectes que realitzen proves o experiments de conducció. Es pot manifestar de diverses maneres en funció del seu grau de severitat, com ara malestar general, desorientació, vertígens, cansament ocular, nàusees i, fins i tot, vòmits en casos molt extrems. Aquest fenomen afecta no només la seguretat dels subjectes experimentals sinó també la fiabilitat dels simuladors.

Encara que els investigadors que han estudiat aquest trastorn no es posen del tot d'acord, sí és cert que la majoria d'ells han arribat a la conclusió que el mareig del simulador està motivat principalment per tres factors: [RBW07]

1. *El disseny del simulador:* camp de visió, ús o no de plataforma mòbil, posició de conducció, etc. El disseny del simulador influeix directament en la facilitat o no de provocar mareig. L'estudi fet per

Burnett et al. [BIM07], que ja es va comentar en parlar de la validesa del simulador, també van obtenir com a conclusió que el mareig experimentat va ser menor en fer servir una cabina de cotxe real que usant només un quadre d'instruments. Un altre aspecte que influeix en el mareig és el desajust entre la informació visual percebuda pel subjecte i la informació de moviment que dóna el simulador. En el cas de simuladors sense plataforma està informació és nul·la i per tant el desajust és evident. D'altra banda, en els sistemes amb plataforma es pot reduir l'efecte del mareig en proporcionar informació de moviment al subjecte. No obstant això, si la informació proporcionada per la plataforma mòbil no està correctament ajustada amb la informació visual es desencadena un efecte contrari i la probabilitat de provocar mareig augmenta (i també la intensitat d'aquest).

2. *L'exposició al simulador*: temps d'exposició i tipus d'exposició (trànsit, tipus de carreteres, oratge, etc.). Com més gran és el temps que s'està conduint en el simulador, més fàcil és patir mareig. Així mateix, el tipus d'exposició al simulador també influeix directament. Per exemple, els recorreguts amb més corbes o en els quals és més fàcil tindre un elevat nombre de frenades són més propensos a provocar mareig.
3. *Les característiques individuals del subjecte*: edat, sexe, experiència en la conducció, malalties, etc. No tots els subjectes es maregen en un simulador de conducció, encara que hi ha simuladors que produeixen més mareig que d'altres. Existeix un determinat percentatge de persones que pràcticament mai sofriran mareig. En general les persones que en la vida quotidiana es maregen fàcilment en determinats mitjans de transport o en d'altres situacions són més propenses a patir mareig en el simulador.

Habitualment es fan servir estratègies convencionals per tal de reduir els efectes del mareig: reducció del temps d'exposició, disseny de traçats poc sinuosos i amb trànsit poc dens, filtrat de subjectes, etc. Tot i que en

ocasions s'utilitzen diversos dispositius que transmeten estímuls elèctrics per a evitar-lo, com per exemple ReliefBand® [Str05].

ReliefBand és un dispositiu mèdic que és utilitzat per persones que pateixen nàusees a causa de cinetosi, embaràs o quimioteràpia. És un objecte amb l'aparença d'un rellotge que funciona enviant estímuls elèctrics a un nervi del canell que està associat al control de les contraccions de l'estómac. Com que les nàusees estan provocades per una disfunció en el ritme normal de contraccions de l'estómac, aquest dispositiu ajuda a disminuir el mareig del simulador. Concretament, un estudi ha demostrat que aquest dispositiu limita els efectes del mareig quan augmenta el temps d'exposició al simulador [MRB04].

En un altre context, Kennedy et al. [KLBL93] van dissenyar un test d'autoavaluació del mareig que van anomenar *Simulation Sickness Questionnaire* (SSQ). Aquest qüestionari es dona als subjectes just abans de començar la simulació i just després d'acabar-la. L'SSQ té 16 preguntes que es corresponen amb els símptomes que el subjecte pot experimentar i que ell mateix ha d'avaluar per a situar-los dins d'un rang de quatre nivells: cap, suau, moderat i sever (vegeu taula 3.1).

Amb les respostes del subjecte l'SSQ proporciona puntuacions en quatre aspectes: [FI06]

1. *Severitat total*. Representa una mesura global de severitat.
2. *Oculomotor*. Es calcula principalment amb els símptomes:
 - (a) Mal de cap.
 - (b) Mal d'ulls.
 - (c) Dificultat d'enfocament.
 - (d) Visió borrosa.
3. *Nàusea*. S'obté bàsicament en funció dels següents símptomes:

TAULA 3.1: *Simulation Sickness Questionnaire* (SSQ) [KLBL93]

Marque amb un cercle com li afecten tots els símptomes ara mateix

Símtoma	Severitat			
Malestar general	Cap	Suau	Moderada	Severa
Fatiga	Cap	Suau	Moderada	Severa
Mal de cap	Cap	Suau	Moderada	Severa
Mal d'ulls	Cap	Suau	Moderada	Severa
Dificultat d'enfocament	Cap	Suau	Moderada	Severa
Augment de salivació	Cap	Suau	Moderada	Severa
Suors	Cap	Suau	Moderada	Severa
Nàusees	Cap	Suau	Moderada	Severa
Dificultat de concentració	Cap	Suau	Moderada	Severa
Cap carregat	Cap	Suau	Moderada	Severa
Visió borrosa	Cap	Suau	Moderada	Severa
Mareig amb ulls oberts	Cap	Suau	Moderada	Severa
Mareig amb ulls tancats	Cap	Suau	Moderada	Severa
Vertigen	Cap	Suau	Moderada	Severa
Malestar abdominal	Cap	Suau	Moderada	Severa
Eructes	Cap	Suau	Moderada	Severa

- (a) Augment de salivació.
- (b) Nàusees.
- (c) Malestar abdominal.
- (d) Eructes.

4. *Desorientació*. Es fonamenta en els símptomes:

- (a) Mareig amb ulls oberts.
- (b) Mareig amb ulls tancats.
- (c) Vertigen.

Aquests quatre tipus de puntuació es calculen mitjançant fórmules d'anàlisi factorial sobre els 16 símptomes. D'aquesta manera, l'SSQ permet esbrinar quins símptomes afecten el mareig en un determinat tipus de simulador i de quina manera.

Capítol 4

Simulador de conducció SIMUVEG

4.1 Introducció

El simulador de conducció SIMUVEG és el resultat de l'evolució dels diversos simuladors desenvolupats pel grup SINTEC (Simulació i Noves Tecnologies) de l'INTRAS al llarg d'anys d'investigació. A mitjan els anys noranta la tecnologia necessària per a reproduir una simulació de conducció era extremadament cara, ja que els ordinadors personals d'aquella època no eren capaços de reproduir escenes 3D realistes basades en textures fotogràfiques amb la freqüència d'imatges adient per a donar sensació de continuïtat visual, característica fonamental que ha de complir un simulador. D'aquesta manera, l'única solució consistia a adquirir potents estacions gràfiques que, així i tot, multiplicaven les despeses. En aquells anys els equips fabricats per l'empresa Silicon Graphics van ser els més utilitzats en l'execució d'aplicacions de Simulació Gràfica 3D i de Realitat Virtual per nombrosos organismes públics i privats a tot arreu del món.

SINTEC va desenvolupar diferents simuladors fins a arribar al simulador SIMUVEG. A continuació es descriuen per ordre cronològic cadascun d'ells.

4.2 Simulador de l'autopista AP-7

El primer simulador que va implementar SINTEC es va fer dins del projecte ALERTA (Factors i estratègies d'intervenció sobre el nivell d'alerta del conductor en autopista) [MEC⁺99], que va ser finançat per l'empresa AUTOPISTES DEL MARE NOSTRUM, C.E.S.A. (AUMAR). Aquest projecte incloïa una part d'experimentació en carretera real i una altra part de conducció en un simulador. L'objectiu de l'ús del simulador consistia a identificar el grau de correlació que hi havia entre la conducció en aquest i la conducció real.

El simulador reproduïa un tram d'autopista AP-7 (també anomenada Autopista de la Mediterrània perquè recorre la costa mediterrània de nord a sud). El tram modelat constava d'uns 45 kilòmetres aproximadament i se situava entre els punts quilomètrics 542 (Algemés) i 588 (Oliva).

Els subjectes havien de conduir tant en direcció nord com en direcció sud, avaluant-se durant tot el recorregut el seu nivell d'alerta mitjançant les dades extretes d'un equip d'adquisició de dades psicofisiològiques (EEG, freqüència cardíaca, etc.) i les mesures d'execució proporcionades pel simulador.

El maquinari del simulador estava format pels següents components:

- Uns comandaments per a la conducció del vehicle consistents en un volant de jocs amb pedals d'acceleració i frenada.
- Una estació gràfica model Silicon Graphics O2 que s'encarregava de la generació de les imatges (vegeu figura 4.1). El cost d'aquest equip era



FIGURA 4.1: Estacions gràfiques Silicon Graphics O2 i Octane

relativament baix en comparació a d'altres (equivalent al cost d'uns cinc ordinadors personals de l'època), tot i això, la reproducció de la simulació fregava la freqüència mínima d'imatges per segon que es considera adequada. Per aquest motiu, anys més tard es va substituir l'estació gràfica O2 per una de major rendiment i cost anomenada Silicon Graphics Octane (vegeu figura 4.1).

- Un sistema de visualització que consistia inicialment en un monitor de 17 polzades però que més tard es va substituir per un monitor de 24 polzades.

D'altra banda, el programari del simulador estava format per dues aplicacions independents: una per a generar el model 3D de l'autopista i una altra per a la conducció i l'emmagatzemament de les dades d'execució. Es descriuen a continuació aquestes dues aplicacions.

4.2.1 Modelador de la via

Per tal d'aconseguir que el model visual que representa l'autopista siga tan realista com puga ser possible, allò que és més convenient és fer que aquest seguisca les especificacions geomètriques reals de la via, és a dir, les especificacions dels plànols dels enginyers. Així, l'aplicació que genera el model visual es basa en la conversió de la informació emmagatzemada en dos fitxers de text.

El primer fitxer conté principalment les dades referents a la forma de l'eix de la via i el seu peralt (vegeu figura 4.2). Inclou també la informació sobre la secció transversal i les posicions d'altres elements de la via com ara senyals de trànsit, proteccions laterals, vegetació central, etc.

La definició paramètrica de l'eix de la via es fa mitjançant dues seqüències de segments independents: [PCBR99] [BPCF98]

- *Planta.* Representa la informació de la curvatura de la carretera. La planta està formada per una combinació de tres segments distints: rectes, arcs i espirals de tipus clotoide. Les rectes són segments amb curvatura 0, mentre que els arcs tenen una curvatura fixa i les clotoides estan caracteritzades per un paràmetre que defineix la variació de la seua curvatura en funció de la longitud. Les clotoides serveixen per a suavitzar el traçat de la via en fer de transició entre rectes i arcs o entre arcs de distinta curvatura.
- *Perfil.* Es correspon amb la variació vertical (en altura) de la carretera. Les transicions entre trams de perfil de diferent altura se suavitzen mitjançant una funció que varia quadràticament en funció de la longitud.

La secció transversal de la carretera (el tall perpendicular a la direcció de la carretera) es defineix en funció de la posició, l'orientació i la grandària

```

Seqüència planta

T = 1  PK = 120.681721  R = 4000
T = 3  PK = 121.449401  A = 1200
T = 5  PK = 121.809401
T = 4  PK = 121.809401  A = 1150
T = 2  PK = 122.187259  R = 3500
T = 4  PK = 122.664604  A = 1150
T = 5  PK = 123.042461
T = 3  PK = 123.042461  A = 700
T = 1  PK = 123.287461  R = 2000
T = 0  PK = 125.309420

Seqüència perfil

PK = 120.681721  Z = 13.507  L = 0
PK = 122.090000  Z = 13.507  L = 300
PK = 122.566250  Z = 15.372  L = 400
PK = 124.780000  Z = 19.800  L = 500
PK = 125.309420  Z = 18.212  L = 0

Seqüència peralt

PK = 120.681721  PD = 0.0  PI = 0.0
PK = 121.784401  PD = 0.0  PI = 0.0
PK = 121.834401  PD = -0.02  PI = 0.02
PK = 123.017461  PD = -0.02  PI = 0.02
PK = 123.067461  PD = 0.02  PI = -0.02
PK = 123.287461  PD = 0.03  PI = -0.03
PK = 125.309420  PD = 0.03  PI = -0.03

```

FIGURA 4.2: Extracte d'un arxiu de descripció de la via amb els segments de planta, perfil i peralt

d'una sèrie de segments (vegeu figura 4.3). Tot i això, la posició i l'orientació de molts d'aquests segments varia també en funció del valor que prenga el peralt en cada punt quilomètric de la carretera.

El peralt és el pendent transversal que té la carretera i pot ser diferent en cada costat de la via, és a dir, existeix un peralt dret i un peralt esquerre. El valor del peralt (esquerre o dret) es fixa només en alguns punts quilomètrics de la via, de manera que el seu valor en un punt intermedi es pot calcular fàcilment ja que aquest varia linealment.

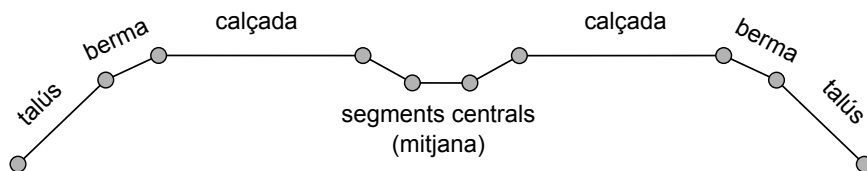


FIGURA 4.3: Segments de la secció transversal de l'autopista AP-7

A banda de la modificació que provoca el peralt en la secció transversal (fonamentalment en el segments de la calçada), és possible que la forma d'aquesta varie per l'addició d'elements que es repeteixen longitudinalment en únicament alguns trams de la via, com ara les proteccions laterals o la vegetació.

Finalment, aquest primer fitxer conté també la informació sobre la localització d'uns elements anomenats objectes puntuals (com per exemple senyals de trànsit, passos elevats, etc.). Aquesta informació es defineix amb tres dades: posició i orientació relativa de l'objecte sobre la secció transversal i punt quilomètric on està.

El segon fitxer de descripció inclou la informació de les alçades que té el terreny circumdant a diferents distàncies de l'eix de la via i en distints punts quilomètrics. Per a optimitzar el model 3D del terreny, la complexitat (nombre de polígons) és major més a prop de la via que lluny d'ella, això vol dir que l'arxiu conté més dades dels punts del terreny que estan més propers a la carretera. Aquesta solució està justificada pel fet que el conductor no necessita veure el terreny llunyà amb molt de detall.

Amb la combinació de tota la informació d'aquests dos fitxers el modelador genera automàticament el model 3D de l'autopista. No obstant això, per motius d'eficiència gràfica de la simulació, el que realment es fa és dividir el recorregut total en diverses parelles de fitxers (un per a la via

Instant (s)	PK (km)	Desplaçament lateral (m)	Velocitat (km/h)	Angle del volant (graus)
0.000	541.827	8.9813	104.762	1.94445
0.064	541.828	8.9203	104.809	1.94445
0.129	541.830	8.8573	104.857	1.92902
0.198	541.831	8.7924	104.904	1.92902
0.264	541.832	8.7255	104.951	1.80556
0.312	541.834	8.6571	104.999	1.88272
0.360	541.835	8.5876	105.046	1.86729
0.408	541.837	8.5155	105.093	1.88272
0.456	541.838	8.4419	105.140	1.74383
0.505	541.840	8.3668	105.187	1.45062
0.554	541.841	8.2898	105.235	1.54321
0.603	541.842	8.2116	105.282	1.57408
0.652	541.844	8.1331	105.329	1.52778
0.701	541.845	8.0525	105.376	1.49692
0.749	541.847	7.9716	105.422	1.38889
0.799	541.848	7.8899	105.469	0.77161
0.848	541.850	7.8070	105.516	0.94136
0.900	541.851	7.7232	105.563	0.80247
0.949	541.852	7.6398	105.610	0.67901
0.998	541.854	7.5560	105.657	0.60185

FIGURA 4.4: Extracte d'un arxiu de dades d'execució

i un altre per al terreny) que contenen la informació d'aproximadament 5 quilòmetres de recorregut cadascuna d'elles. D'aquesta manera es genera un conjunt de models 3D que el programari de simulació carregarà i descarregarà dinàmicament en funció del punt quilomètric on s'estiga conduint.

4.2.2 Aplicació de conducció

Evidentment, aquest programari reproduïx la conducció del subjecte pel model 3D de l'autopista mitjançant els comandaments del vehicle. L'aplicació enregistra en cada cicle de simulació (cada imatge generada) quatre paràmetres d'execució: PK (punt quilomètric), desplaçament



FIGURA 4.5: Vista de l'eixida gràfica del simulador de l'autopista AP-7

lateral, velocitat i angle del volant. En la figura 4.4 es veu un exemple d'arxiu d'eixida proporcionat per l'aplicació. En aquesta taula de dades es pot observar que la simulació funcionava a 20 *frames* (imatges) per segon ja que hi ha 20 registres entre els instants 0 i 1. Així mateix, a la figura 4.5 es pot veure que l'eixida gràfica que proporciona el simulador era bastant realista. Com es va comentar en el capítol 3, la llibreria gràfica que els equips de Silicon Graphics usaven per a visualitzar els models en 3D era l'anomenada OpenGL Performer. A més, aquests equips funcionaven amb un sistema operatiu basat en UNIX anomenat IRIX.

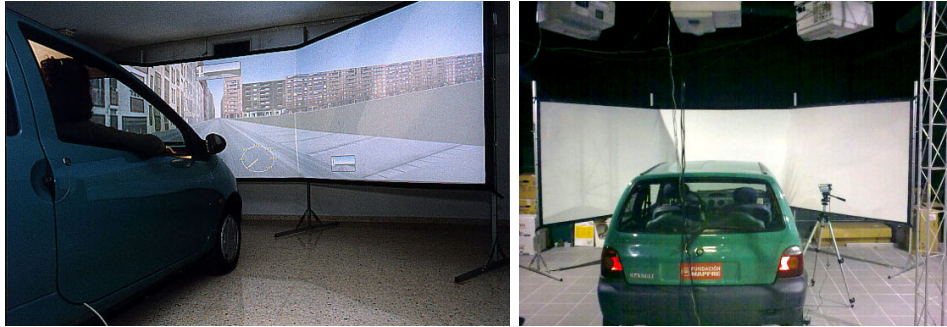


FIGURA 4.6: Vistes exteriors del simulador EVICA

4.3 Simulador EVICA

El projecte EVICA [CSPR00][SVC+99][SVP00][VSCP01][VSS+04] (*sistema informático para la EValuación Interactiva de Conductores de la Aseguradora Mapfre/Mares*) consistia a desenvolupar un simulador d'alt nivell per a avaluar els conductors i proporcionar-los claus que els ajuden a identificar defectes que impliquen riscos en la seua conducció i, d'aquesta manera, ajudar-los a millorar aquells aspectes on tinguen deficiències.

Aquest projecte va suposar l'ampliació del programari de simulació, la incorporació de nous escenaris (situacions) de conducció, la creació de dos models 3D nous (un urbà i un altre interurbà) i la millora del maquinari.

Per a augmentar el realisme, la informació visual proporcionada pel nou simulador havia d'ampliar-se d'un únic canal (un monitor) que oferia el simulador antic a diversos canals. Així doncs, el sistema de visualització d'EVICA consisteix en tres pantalles de grans dimensions il·luminades per tres projectors (vegeu figura 4.6). D'aquesta forma, l'angle de visió del subjecte es va triplicar i es va aconseguir una conducció més propera a la conducció normal.



FIGURA 4.7: Estació gràfica Silicon Graphics ONYX2

Així i tot, l'augment del nombre de canals visuals va incrementar considerablement el cost computacional de l'aplicació i va fer obligatori l'ús d'una estació gràfica d'altres prestacions com la Silicon Graphics ONYX2, model que es va triar finalment (vegeu figura 4.7). Com molts dels equips de Silicon Graphics d'aquella època l'ONYX2 funciona amb el sistema operatiu IRIX.

A banda d'aquest equip, aquest simulador inclou un altre que consisteix en un ordinador personal que s'encarrega de generar so 3D utilitzant algunes dades proporcionades per l'ONYX2. Les dades que es necessiten per a generar el so són bàsicament la velocitat, la posició i les revolucions per minut del motor del vehicle conduït i dels vehicles del voltant; no és necessari obtenir cap informació dels vehicles llunyans perquè evidentment aquests no són audibles des de la posició del conductor. A més, es poden generar d'altres tipus de so aliens als vehicles si fóra necessari.

Es va sensoritzar un cotxe real (model Renault Twingo) per al seu ús com a lloc de conducció, la qual cosa va incrementar considerablement la sensació de realisme davant la utilització d'uns comandaments senzills com en el cas del simulador de l'autopista AP-7. El vehicle se situa davant de les tres pantalles de projecció de manera que el subjecte obté un angle de visió d'uns 120° aproximadament (vegeu figura 4.6).

El simulador EVICA ofereix dues proves de conducció diferents: una prova urbana i una altra interurbana. Ambdues estan basades en carreteres no reals, puix que a l'hora de dissenyar les proves es va buscar aquells traçats que permeten avaluar els conductors de la millor manera possible en un recorregut no excessivament llarg. Cada prova dura aproximadament de 15 a 20 minuts i està dividida en un conjunt d'escenaris o situacions de conducció per les quals han de passar tots el subjectes, d'aquesta manera els paràmetres d'execució són comparables. A més, per a assegurar que els subjectes fan totes les situacions, se'ls indica que han de llegir i seguir els senyals de trànsit per a dirigir-se a una destinació concreta.

Les situacions de conducció que els subjectes han d'abordar amb EVICA estan basades principalment en successos reals que han provocat accidents, encara que no són situacions trampa on la majoria dels conductors patirien un accident. Açò fa que els escenaris de conducció siguin més creïbles i assumibles pels subjectes experimentals.

TAULA 4.1: Mesures genèriques i extracte d'algunes de les mesures específiques preses pel simulador EVICA

Tipus	Mesura
GENÈRIQUES	Velocitat mitjana
	Temps total (temps de viatge)
	Temps per damunt de la velocitat màxima
	Temps per davall de la velocitat màxima
	Temps revolucionat
	Nombre de col·lisions
	Nombre de canvis de marxa
	Nombre de frenades (frenades brusques)
	Desviació del volant (Desviació típica de l'angle del volant (SDST/STS))
	Nombre d'invasions del carril contrari (<i>LANEX</i> ₁ amb carril contrari)
	Temps que envaeix el carril contrari (<i>LANEX</i> ₄ amb carril contrari)
ESPECÍFIQUES (extracte)	Velocitat mitjana
	Velocitat màxima
	Canvi de velocitat
	Diferència de velocitat entre vehicles
	Distància lateral mínima entre vehicles
	Distància lateral mitjana entre vehicles
	Màxima diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle
	Desviació típica de la diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle
	Temps per a la col·lisió (TTC)
	Distància entre vehicles (DH)
	Mitjana de la posició lateral (MLP)
	Ús d'intermitents (ús de controls secundaris)
Temps de resposta	

ESCENARIO 4: Alcance



Circula por una carretera convencional y observa por el espejo retrovisor un vehículo que se acerca y mantiene una distancia con su vehículo excesivamente corta.

Es frecuente ver conductores que mantienen una distancia excesivamente corta con el vehículo que les precede. Esto puede producir al conductor de dicho vehículo nerviosismo, obligándole a adoptar estrategias de conducción poco apropiadas, tal y como por ejemplo, conducir a mayor velocidad de la permitida.

Su actuación en el simulador:

- *Ha aumentado la velocidad al advertir la presencia del pisacolas.*

Peligro. Al aumentar la velocidad aumenta el riesgo de accidente.

- *Ha tomado la curva con demasiada velocidad.*

Peligro de colisión con el vehículo procedente de la vía de la derecha tras la curva.

RECUERDE:

Si un vehículo nos sigue a una distancia muy corta, aumentar la velocidad puede resultar peligroso. La forma de evitar una situación conflictiva es mantener la velocidad constante o incluso aminorarla. Esto eliminará el peligro al invitar al otro a pasar y le ayudará a que pueda frenar con seguridad si surge un imprevisto. De este modo se reduce la probabilidad de que ocurra un choque por alcance.

FIGURA 4.8: Extracte d'un informe d'EVICA

Durant tota la prova de conducció es prenen una sèrie de paràmetres que s'anomenen genèrics perquè fan referència a característiques generals de tot l'experiment de conducció. Per altra part, com que cada situació de conducció té les seues pròpies característiques, en cadascuna d'elles es pren un conjunt diferent de mesures anomenades específiques (vegeu taula 4.1). Fent servir les dades obtingudes en cada situació i mitjançant unes regles lògiques (regles de producció) s'obtenen un conjunt de conclusions sobre l'execució del subjecte. Amb tota aquesta informació EVICA avalua la conducció i genera un informe automàtic en format html. Aquest document, que es lliurat al subjecte, li explica com ha conduït en cada situació i afegeix un conjunt de recomanacions de seguretat viària (vegeu figura 4.8).

El simulador EVICA es va posar en marxa al voltant de l'any 2000 i encara roman operatiu. Tanmateix, a principis de la dècada del 2010 l'evolució del maquinari i la reducció de costos va fer possible plantejar-se l'evolució del simulador EVICA a un sistema basat en ordinadors personals, fet va ser el punt de partida pel desenvolupament del simulador SIMUVEG.

4.4 Simulador SIMUVEG

El simulador SIMUVEG integra i millora el programari dels anteriors simuladors desenvolupats per SINTEC (models 3D, escenaris de conducció, mesures d'execució, etc.) i també el seu maquinari (equips, visualització, lloc de conducció, etc.).

4.4.1 Components

El seu sistema de visualització és similar al del simulador EVICA, és a dir, està format per una gran pantalla de projecció de tres trams il·luminada per tres projectors. Tanmateix, un gran avantatge de SIMUVEG enfront d'EVICA és el fet que el seus projectors tenen 2000 lúmens de lluminositat,



FIGURA 4.9: Vista exterior del simulador SIMUVEG

la qual cosa fa possible la visió correcta de les imatges de la simulació encara que la il·luminació ambiental siga alta.

El simulador EVICA representa les imatges dels espills del vehicle sobre les tres pantalles frontals i les separa de la resta de la visualització mitjançant un marc negre (vegeu figura 4.6). Altrament, SIMUVEG inclou tres pantalles TFT (dues exteriors i una interior) de menudes dimensions per a representar les imatges dels retrovisors del vehicle (vegeu figura 4.9). Açò suposa una millora considerable enfront d'EVICA pel que fa al realisme de la visió de l'escena posterior de la conducció.

Ja es va veure que EVICA necessita dos equips informàtics per a executar-se: un que s'encarrega bàsicament de la generació d'imatges i un altre per a la reproducció del so. No obstant això, SIMUVEG fa servir únicament un equip per a realitzar totes les funcions de la simulació. Aquest

ordinador és un PC amb un processador de doble nucli i dues targetes gràfiques. Com que cada targeta gràfica té dues eixides, es disposa en total de quatre canals gràfics que es reparteixen la visualització de la següent manera: tres s'utilitzen per a representar les visions frontal, esquerra i dreta (una eixida per a cadascuna d'elles) i el quart canal es divideix mitjançant un demultiplexor en tres senyals per a mostrar les imatges corresponents als tres retrovisors.

La cabina de conducció està formada per un cotxe real i sencer model Renault Twingo (vegeu figura 4.9). Aquest model de vehicle és el mateix que el que fa servir a EVICA i a més a més la seua sensorització és molt semblant, encara que el sistema per a simular el tacte del volant (resistència i retrocés) està bastant millorat. La utilització d'un vehicle real és molt important perquè, com ja s'ha dit anteriorment, augmenta considerablement la sensació de realisme que percep el subjecte experimental.

4.4.2 Programari

SIMUVEG arreplega el codi que es fa servir als simuladors EVICA i al de l'autopista AP-7 però amb determinades modificacions per a millorar-lo i adaptar-lo als diversos projectes que s'han realitzat, al nou maquinari i a la nova plataforma Windows (ja es va comentar que els equips dels simuladors anteriors funcionaven amb IRIX). Algunes de les diferents ampliacions que es van incorporar són les següents:

- *Càlcul de noves mesures d'execució.* Principalment es van afegir el càlcul durant tota la simulació del temps per a encreuar la línia (TLC) i la diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle.
- *Utilització de la tècnica PDT (Peripheral detection task).* Es va modificar el programari per generar imatges o icones alienes a l'escena

de conducció que es mostren a la perifèria de la visió del conductor i, d'aquesta manera, avaluar l'execució de diferents tipus de tasques secundàries com ara la manipulació del mòbil, el GPS o la ràdio.

Capítol 5

Estat de l'art en les mesures de conducció

5.1 Introducció

Aquest capítol es dedicarà a fer una revisió de les diferents fonts d'informació que s'han fet servir per tal de fer una classificació adient de les mesures de la conducció. Ja es va veure al capítol 1 que aquestes fonts eren les següents:

1. El projecte HASTE.
2. L'estàndard ISO/DIS 17207/2003.
3. La Xarxa d'Excel·lència Humanist.
4. El projecte AIDE.

Per a una descripció detallada de les mesures incloses caldrà anar als capítols següents. En aquest capítol no s'aprofundirà en cadascuna d'elles i només es farà una enumeració de les mesures considerades en cada cas, a més de la seua classificació dins de les diferents fonts estudiades.

5.2 Projecte europeu HASTE

El projecte europeu HASTE (*Human machine interface And Safety of Traffic in Europe*) va tindre com a objectiu principal el desenvolupament de metodologies i consells per a l'avaluació d'IVIS, tant en la fase de disseny com en les fases de verificació i certificació [JCJ⁺05]. La durada del projecte va ser de tres anys (des de 2002 a 2005) i va tindre com a socis participants els següents organismes:

- ITS - *Institute for Transport Studies, University of Leeds* (Regne Unit). Va ser el soci coordinador del projecte.
- TNO *Human Factors* (Holanda).
- VTI - *Swedish Road and Transport Research Institute* (Suècia).
- TUDelf - *Delf University of Technology* (Holanda).
- *Volvo Technology Corporation* (Suècia).
- MIRA Ltd. (Regne Unit).
- VTT - *Technical Research Centre of Finland* (Finlàndia).
- *Universidade do Minho* (Portugal).
- *Transport Canada* (Canadà).

Els sistemes IVIS, com per exemple els navegadors GPS, ofereixen grans avantatges als conductors. No obstant això, no s'ha de perdre de vista les repercussions que l'ús d'aquests sistemes poden tindre en la seguretat viària. Dins d'aquest context, el projecte HASTE tenia com a objectiu fer les següents tasques: [RBdW⁺02]

- Identificar i explorar els escenaris de conducció amb més probabilitat de tindre problemes de seguretat viària relacionades amb l'ús d'IVIS.
- Explorar les relacions en eixos escenaris entre:
 - Càrrega de treball i risc.
 - Distracció i alt risc.
- Identificar indicadors de risc.
- Recomanar una aproximació per a l'avaluació de l'impacte de l'ús dels IVIS en la seguretat viària.

Ja s'ha comentat que els experiments de conducció poden ser duts a terme mitjançant simuladors o experiments de camp per exemple. En aquest sentit, als documents del projecte es fa referència a tres possibles tipus d'experiment: [RBdW⁺02]

- *Camp*. Experiment en el qual es fa servir un vehicle real.
- *Simulador*. Experiment amb simulador de conducció
- *Laboratori*. Experiment amb simulador basat en un PC amb únicament teclat i ratolí.

En els següents apartats s'aprofundirà en la classificació de les mesures de conducció feta per HASTE. Així, el projecte considera que les mesures poden dividir-se en tres grups principals: [RBdW⁺02]

- Mesures d'execució.
- Mesures de càrrega de treball.
- Mesures de consciència situacional.

5.2.1 Mesures d'execució

Aquest grup conté les mesures relacionades amb el control (nivell operatiu) i la interacció (nivell tàctic) del model de Michon [Mic79]. HASTE diferencia dos grups dins de les mesures d'execució: [RBdW⁺02]

- *Mesures objectives.* Atenent al tipus de progressió del vehicle dins de la carretera es classifiquen en mesures de:
 - *Control lateral.* Inclou les mesures relacionades amb el direccionament i el volant.
 - *Control longitudinal.* Engloba les mesures relacionades amb la velocitat i el seguiment entre vehicles.
- *Mesures subjectives pròpies o dels experts.* Inclou aquelles mesures extretes mitjançant l'avaluació subjectiva dels subjectes experimentals o dels experts. Aquesta avaluació es realitza fent servir diversos mètodes.

A la taula 5.1 es mostra el conjunt de mesures proposades i es fa una revisió de quines mesures es poden prendre en cadascun dels tres tipus d'experiments esmentats amb anterioritat. A més, s'exposa quines mesures són considerades d'ús obligatori i quines són d'ús opcional.

A part de les mesures incloses a la taula 5.1, els documents del projecte fan referència a d'altres que no es tenen en compte com a mesures d'ús obligatori o opcional (vegeu taula 5.2).

TAULA 5.1: Mesures d'execució obligatòries i opcionals segons HASTE [RBdW⁺02] [sNC⁺04]

		Mesura	Camp	Simulador	Laboratori
MESURES OBJECTIVES	OBLIGATÒRIES	Canvis de direcció del volant	√	√	
		Eixides de carril (LANEX)	√(no urbà)	√	√
		Posició lateral (LP)	√(no urbà)	√	√
		Desviació típica de la posició lateral (SDLP)	√(no urbà)	√	√
		Temps per a encreuar la línia (TLC)	√(no urbà)	√	√
		Velocitat	√	√	√
		Desviació típica de la velocitat	√	√	√
		Temps entre vehicles	√	√	√
		Distància entre vehicles	√	√	√
		Temps per a la col·lisió (TTC)	√	√	√
		Temps de reacció a esdeveniments inesperats (RT)		√	√
	OPCIONALS	Component d'alta freqüència de l'angle del volant (HFC)	√	√	
		<i>Steering entropy</i>	√	√	
		Desviació típica de l'angle del volant (STS)	√	√	
		Girs ràpids del volant (RSWT)	√	√	
		Canvi de velocitat	√	√	√
		Frenades brusques	√	√	
		Temps fora del carril	√	√	√
	Temps després d'abandonar la zona de conflicte (PET)		√	√	
MESURES SUBJECTIVES OBLIGATÒRIES					
Exp.	Protocol de l'observador de Lund (<i>Wiener Fahrprobe</i>)	√	√	√	
Pròp.	<i>Driving Quality Scale</i> (DQS)	√	√	√	

TAULA 5.2: Mesures d'execució no necessàries segons HASTE

	Mesura
MESURES OBJECTIVES	Nombre d'accidents
	Nombre d'avançaments perillosos
	Nombre de passos per zero (ZERO)
	Distància fora del carril
	Ús d'uns altres controls del vehicle: Intermitents/ Canvis entre llums curts i llargs/ Marxa seleccionada
MESURES SUBJECTIVES DELS EXPERTS	<i>Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive (TRIP)</i>
MESURES SUBJECTIVES PRÒPIES	<i>Driver Behaviour Questionnaire</i>

5.2.2 Mesures de càrrega de treball

La càrrega de treball és un fenomen complex que es pot integrar dins de diferents categories: càrrega visual (cap a on mira el conductor?), càrrega motora (què fa amb les mans i els peus?) i càrrega mental (quanta informació ha de processar?) [RBdW⁺02]. Les mesures de càrrega de treball que HASTE proposa són les següents: [RBdW⁺02] [sNC⁺04]

- Execució de tasca primària.
- *Execució de tasca secundària.* S'hi inclou el *Peripheral Detection Task* (PDT) com un del mètodes possibles.
- *Paràmetres de càrrega visual:*

- Tècnica d'oclusió visual.
- *Mesures oculars bàsiques*. Es corresponen principalment amb les mesures relacionades amb la fixació ocular, com ara freqüència, duració, canvis de direcció, *Percent Road Centre* (PRC), etc.
- *Mesures relacionades amb la mirada cap a àrees d'interés*. Les considerades més importants són la freqüència i la duració de la mirada.
- *Mesures subjectives de càrrega de treball*. Inclou les tècniques:
 - *NASA - Task Load Index* (NASA-TLX).
 - *Subjective Workload Assessment Technique* (SWAT).
 - *Modified Cooper Harper Scale* (MCH).
 - *Rating Scale Mental Effort* (RSME).
- *Mesures fisiològiques de càrrega de treball*: freqüència cardíaca, EEG/ERP (Electroencefalograma / *Event-Related Potentials*), variabilitat de la freqüència cardíaca, intervals entre batecs, respiració, resposta de conductància de la pell (SCR)/resposta galvànica de la pell (GSR), mesures fisiològiques oculars (diàmetre de la pupilla, direcció de la vista, nombre de parpellejos, etc.) i hormones.
- *Execució de tasques amb S-IVIS*. Fa referència a com executen els conductors les tasques amb un S-IVIS (*Surrogate IVIS*). Un S-IVIS és una mena de dispositiu semblant a un IVIS real que permet avaluar separatament les tasques visual o cognitiva. El procés d'avaluació es fonamenta en el fet que l'S-IVIS fa preguntes i el conductor ha de respondre-les. D'aquesta manera es poden prendre mesures com temps de reacció, respostes correctes, respostes incorrectes i preguntes no contestades.

5.2.3 Mesures de consciència situacional

HASTE enumera les següents tècniques i mesures per a l'avaluació del grau de consciència del subjecte entorn de la situació de conducció: [RBdW⁺02]

- *Situation Awareness Global Assessment Technique* (SAGAT). Aquesta és la tècnica que recomana HASTE.
- Proves post-esdeveniment
- *Situation Awareness Rating Technique* (SART).
- *Situation Awareness - Subjective Workload Dominance* (SA-SWORD).
- Qualificacions de l'observador.
- *Mesures indirectes d'execució*: detecció de riscos, precisió de la detecció i mesures de latència de resposta. S'utilitzen per a avaluar canvis en la situació de conducció.
- *Mesures fisiològiques de consciència situacional*: EEG i mesures d'*eyetracking* (seguiment de moviments oculars).

5.3 Estàndard ISO/DIS 17207/2003

L'Organització Internacional d'Estandardització és un organisme mundial que té com a objectiu la normalització i l'elaboració d'estàndards en els camps de la indústria, el comerç i les comunicacions. Està formada per una xarxa d'instituts nacionals (un per país) i les normes que desenvolupen no són obligatòries, ja que l'ISO és un organisme no governamental. Aquesta organització va elaborar un estàndard entorn dels aspectes ergonòmics dels sistemes IVIS i ADAS, l'estàndard ISO/DIS 17207/2003 [fS03]. Dins

d'aquest document es fa un estudi de les variables i mètodes necessaris per a l'avaluació de la interacció entre els TICS i els subjectes en la tasca de conducció. En aquest sentit, l'estàndard divideix les mesures de la conducció en quatre grups: [fS03]

- Càrrega de treball.
- Execució de la tasca de conducció.
- Adaptació del comportament.
- Usabilitat.

5.3.1 Càrrega de treball

L'estàndard distingeix tres grups de mesures relacionades amb la càrrega de treball: [fS03]

- *Atenció visual.* S'hi inclouen les següents variables:
 - Duració de la mirada cap a una àrea d'interés.
 - Freqüència de la mirada cap a una àrea d'interés.
 - Mesures combinades de duració i freqüència de la mirada. Com ara:
 - * Temps total de mirades successives cap a una àrea d'interés.
 - * Percentatge de temps mirant la carretera.
- *Mesures d'autoinformes.* Enquadra els mètodes:
 - NASA-TLX (*NASA - Task Load Index*).
 - *Subjective Workload Assessment Technique* (SWAT).
 - *Rating Scale Mental Effort* (RSME).

- *Modified Cooper Harper Scale* (MCH).
- *Execució de la tasca secundària*. Engloba dues tècniques:
 - Execució de tasca visual/cognitiva/manual.
 - *Peripheral Detection Task* (PDT).

5.3.2 Execució de la tasca de conducció

El document divideix les mesures d'execució en tres grups: [fS03]

- Control longitudinal del vehicle:
 - Velocitat mitjana.
 - Desviació típica de la velocitat.
 - Temps entre vehicles.
 - Temps per a la col·lisió (TTC).
- Control lateral del vehicle:
 - Desviació típica de la posició lateral (SDLP).
 - Desviació típica de l'angle del volant (SDST).
 - Amplitud del volant.
 - Canvis de direcció del volant (SRR).
 - Temps per a encreuar la línia (TLC).
 - Eixides de carril (LANEX).
- *Consciència de l'escena de conducció*. Aquest apartat inclou només una mesura:
 - Nombre d'objectes a la vora de la carretera detectats pel conductor.

5.3.3 Adaptació del comportament

L'adaptació del comportament està relacionada amb la utilització dels TICS dins del vehicle. Es refereix concretament a la comparació entre la utilització i la no utilització dels TICS en la conducció, així com a la comparació entre diferents graus d'experiència en l'ús dels TICS. Per tal de fer aquestes comparacions es poden fer servir les mateixes mesures incloses en els grups de càrrega de treball i d'execució. Nogensmenys, l'estudi de l'ISO considera que poden ser útils també unes altres mesures: [fS03]

- *Preparació per a frenar.* Grau de preparació del conductor per a prémer el pedal de fre. És a dir, es correspon amb el temps de resposta del conductor.
- *Ús de controls.* Ús dels controls del vehicle (accelerador, fre, etc.) i la seua evolució en el temps.
- *Carril ocupat.* Carril ocupat pel vehicle en cada moment del trajecte.
- *Maniobres executades.* Maniobres executades pel conductor durant el viatge (eixir, parar, girar, etc.).

5.3.4 Usabilitat

Aquest grup de mesures està relacionat amb la facilitat d'ús i el grau d'interacció dels TICS en la conducció. Es correspon amb la capacitat dels TICS per a ser usats amb eficiència, eficàcia i satisfacció. Com en el cas de les mesures relacionades amb l'adaptació del comportament, per a avaluar la usabilitat es poden fer servir mesures d'execució i de càrrega de treball. Però també es poden utilitzar uns altres paràmetres, en concret: [fS03]

- Temps de finalització de la tasca.

- Nombre d'errades.
- Temps de reacció del TICS.

5.4 Xarxa d'Excel·lència Humanist

La tercera font de classificació que s'ha estudiat és la que va proposar la Xarxa d'Excel·lència Humanist. La NOE Humanist (*Network of Excellence for HUMAN centred design for Information Society Technologies*) va ser un projecte finançat per la Comissió Europea que tenia com a objectiu posar en contacte els diferents grups d'investigació europeus rellevants per tal d'estudiar l'impacte dels sistemes d'informació (IVIS) i d'assistència (ADAS) en el transport. La Xarxa d'Excel·lència estava formada per nombroses institucions i centres d'investigació de més de 10 països europeus. El projecte va estar actiu des de l'any 2004 fins a l'any 2008.

En finalitzar el projecte la majoria dels membres participants en Humanist van formar una nova xarxa anomenada Humanist VCE (*Virtual Centre of Excellence*). El grup d'Investigació SINTEC (Simulació i Noves Tecnologies en Trànsit i Seguretat Viària) de l'INTRAS forma part d'aquesta nova organització.

Dins de la xarxa Humanist, el grup de treball 2 (*Task Force 2*) va treballar en els mètodes i eines per a mesurar i analitzar el comportament del conductor sota la influència dels ITS. Com a resultat d'aquest estudi es va desenvolupar un document que fa una proposició entorn de les metodologies més comunes per a l'anàlisi del comportament del conductor [Jan07].

Com a conseqüència que tres organismes d'Humanist ja estaven presents en el projecte HASTE (TNO, VTI i VTT), alguns dels aspectes de la classificació feta dins del projecte HASTE tenen similituds amb la nova classificació feta per Humanist. També pel mateix motiu, Humanist va

adoptar la mateixa diferenciació de les proves experimentals utilitzada en el projecte HASTE i, de la mateixa manera, va exposar quines mesures eren susceptibles de ser avaluades en funció de cada tipus d'entorn experimental. No obstant això, el significat de cada tipus de prova va canviar lleugerament. Així, Humanist defineix el significat de cada tipus d'experiment de la següent manera: [Jan07]

- *Camp*. Experiment en el qual es fa servir un vehicle instrumentalitzat en un circuit tancat o en una carretera real. També es pot fer servir un vehicle normal amb un dispositiu d'enregistrament de dades (*data logger*), però en aquest cas la varietat de paràmetres enregistrats és inferior que amb un vehicle instrumentalitzat.
- *Simulador*. Experiment amb simulador d'alt o mitjà nivell.
- *Laboratori*. Experiment amb simulador de baix nivell. És a dir, basat en una pantalla, un volant i uns pedals de fre i accelerador.

Malgrat tot, la proposició per a classificar les mesures d'Humanist es diferencia significativament de la feta per HASTE. Aquesta es basa en la divisió de les mesures de la conducció en quatre grups: [Jan07]

- Mesures d'execució.
- Mesures sobre l'estat del conductor.
- Usabilitat.
- Acceptació.

Els dos últims grups de mesures, és a dir la usabilitat i l'acceptació, estan relacionats específicament amb l'ús dels dispositius IVIS i ADAS. Com s'ha vist en l'apartat anterior, l'estàndard ISO també inclou diverses mesures per a avaluar la usabilitat dels TICS.

5.4.1 Mesures d'execució

Humanist divideix les mesures d'execució en quatre grups: [Jan07]

- *Longitudinal*. Paràmetres referits a la progressió del vehicle de forma paral·lela a la carretera.
- *Interaccions*. Mesures relacionades amb la interacció del subjecte amb la resta de vehicles.
- *Lateral*. Paràmetres associats amb el desplaçament del vehicle de manera perpendicular a la carretera.
- *Accions del conductor*. Interaccions del conductor amb els comandaments del vehicle (volant, pedals, intermitents, etc.).
- *Mètodes observacionals*. Tècniques basades en l'observació del conductor per part d'un expert per tal d'enregistrar diferents aspectes de la conducció que són difícilment mesurables automàticament.

A la taula 5.3 es mostra quines mesures d'execució es van considerar i el grau de sensibilitat de cada mesura en cada tipus de situació experimental, de manera que el símbol \checkmark vol dir que tècnicament és possible mesurar el paràmetre i, a més, aquest és sensible. Si es presta atenció a la taula es conclou que els experiments amb simulador de conducció de mitjà i alt nivell són els que ofereixen un major grau de sensibilitat en els paràmetres mesurats.

TAULA 5.3: Mesures d'execució més utilitzades per a diferents entorns experimentals segons Humanist [Jan07]

	Mesura	Camp	Simulador	Laboratori
LONGITUDINAL	Velocitat mitjana	✓	✓	✓
	Desviació típica de la velocitat	✓	✓	✓
	Temps de viatge	✓	✓	✓
	Distància de viatge	✓	✓	✓
	Acceleració Longitudinal	✓	✓	✓
INTERACCIONS	Temps entre vehicles	✓	✓	✓
	Distància entre vehicles	✓	✓	✓
	Temps per a la col·lisió (TTC)	✓	✓	✓
	Temps després d'abandonar la zona de conflicte (PET)		✓	✓
LATERAL	Mitjana de la posició lateral	✓(no urbà)	✓	✓
	Desviació típica de la posició lateral	✓(no urbà)	✓	✓
	Velocitat lateral	✓	✓	Difícil ¹
	Acceleració lateral absoluta	✓	✓	✓
	Acceleració lateral relativa a la carretera	✓	✓	Difícil ¹
	Temps per a encreuar la línia (TLC)	✓(no urbà)	✓	✓
	Eixides de carril (LANEX)	✓(no urbà)	✓	✓

¹Es necessiten dades precises

	Mesura	Camp	Simulador	Laboratori
ACCIONS DEL CONDUCTOR	Angle del volant	Limitat	✓	✓
	Canvis de direcció del volant	✓	✓	
	Component d'alta freqüència de l'angle del volant	✓	✓	
	<i>Steering entropy</i>	✓	✓	
	Frenades brusques	✓	✓	
	Força del fre		✓	✓
	Ús de l'accelerador	✓	✓	✓
	Ús de controls secundaris		✓	✓
MÈTODES OBSERVACIONALS				
	<i>Wiener Fahrprobe</i>	✓	✓	✓

És important indicar que molts dels paràmetres d'execució estan relacionats uns amb els altres, de manera a vegades la informació és redundant. En aquest context Jansen [Jan94] i Bekiaris [BPPJ06] suggereixen que la tasca de conducció té quatre dimensions estadísticament independents. Segons aquesta afirmació es pot fer una diferenciació de les mesures d'execució en els següents grups:

- Elecció de velocitat.
- Variabilitat de la velocitat.
- Posicionament lateral.
- Seguiment entre vehicles.

Tenint en compte aquesta diferenciació Humanist fa un suggeriment entorn del conjunt mínim de paràmetres d'execució que s'han de prendre en un experiment de conducció. Aquest conjunt està definit de forma que hi ha

TAULA 5.4: Conjunt mínim de mesures d'execució segons Humanist [Jan07]

Grup	Mesura	Dimensió
LONGITUDINAL	Velocitat mitjana	Elecció de la velocitat
	Desviació típica de la velocitat	Variabilitat de la velocitat
INTERACCIONS	Temps entre vehicles	Seguiment entre vehicles
LATERAL	Desviació típica de la posició lateral	Posicionament lateral
	Temps per a encreuar la línia (TLC)	
	Eixides de carril (LANEX)	
ACCIONS DEL CONDUCTOR	Component d'alta freqüència de l'angle del volant	

almenys un paràmetre en una de les quatre dimensions esmentades (vegeu taula 5.4). Com s'observa a la taula, moltes de les mesures proposades estan relacionades amb el posicionament lateral.

5.4.2 Mesures sobre l'estat del conductor

Amb aquests paràmetres es pretén realitzar una avaluació de l'estat físic i mental del subjecte durant la prova de conducció. La Xarxa Humanist diferencia tres grups de mesures sobre l'estat del conductor: [Jan07]

- Mesures de càrrega de treball i distracció.
- Mesures relatives a la consciència de la situació de conducció.
- Mesures relatives als models mentals del conductor.

TAULA 5.5: Mesures sobre l'estat del conductor per a diferents entorns experimentals segons Humanist [Jan07]

	Mesura	Camp	Simulador	Laboratori
CÀRREGA DE TREBALL I DISTRACCIÓ	Execució de la tasca primària	✓	✓	
	Execució de la tasca secundària	✓	✓	
	<i>Peripheral Detection Task</i> (PDT)	✓	✓	✓
	Temps de resposta a esdeveniment inesperats (RT)	✓	✓	✓
	Mesures subjectives de càrrega de treball (NASA-TLX i RSME)	✓	✓	✓
	Freqüència i duració de les mirades	✓	✓	✓
	Paràmetres pupillars	✓	✓	✓
	Oclusió visual	✓	✓	✓
	Freqüència i variabilitat cardíaca	✓	✓	✓
	Respiració	✓	✓	✓
	Hormones	✓	✓	✓
	EEG	✓	✓	✓
CONSCIÈNCIA SITUACIONAL	<i>Situation Awareness Global Assessment Technique</i> (SAGAT)		✓	✓
	Proves post-esdeveniment	✓	✓	✓
	<i>Situation Awareness Rating Technique</i> (SART)	✓	✓	✓
	<i>Situation Awareness Subjective Workload Dominance</i> (SA-SWORD)	✓	✓	✓
	Qualificacions de l'observador	✓	✓	✓
	Mesures indirectes d'execució	✓	✓	✓
Mesures fisiològiques (EEG i <i>eyetracking</i>)	✓	✓	✓	

	Mesura	Camp	Simulador	Laboratori
MODELS MENTALS	<i>Focus Groups</i> (FG)	✓	✓	✓
	Entrevistes en profunditat	✓	✓	✓
	Qüestionaris	✓	✓	✓
	Diaris de camp	✓		

Segons Humanist les mesures de càrrega de treball i distracció són particularment sensibles a les característiques del sistema, fins i tot més que les d'execució [Jan07]. A la taula 5.5 es mostren les mesures sobre l'estat del conductor triades i la seua sensibilitat en cada tipus de situació experimental. Així mateix, Humanist recomana l'ús preferent de les següents mesures: [Jan07]

- *Peripheral Detection Task* (PDT).
- Mesures subjectives de càrrega de treball.
- Qualificacions de l'observador entorn de la consciència situacional.

Aquesta recomanació no inclou cap mesura relacionada amb els models mentals del conductor, en considerar-se que l'elecció d'unes o d'altres dependrà de cada experiment en concret [Jan07].

5.4.3 Usabilitat

Com ja s'ha dit anteriorment la usabilitat es refereix a la facilitat i a la qualitat d'interacció dels TICS. Els mètodes proposats per Humanist per a la seua avaluació són els següents: [Jan07]

- El qüestionari de Brooke.

- El protocol de pensar en veu alta.
- L'aprenentatge per descobriment conjunt (*Co-Discovery Learning* (CDL)).
- La monitorització d'usuaris.

5.4.4 Acceptació

L'acceptació es refereix al desig del conductors de continuar usant o no els TICS atenent a les seues consideracions subjectives entorn de factors com ara augment de la seguretat, estalvis de temps i combustible, augment del confort, etc.[Jan07]

Humanist fa referència als següents mètodes per a l'avaluació de l'acceptació: [Jan07]

- Algorisme de Càlcul d'Escales d'Actitud Estandarditzat (*Standardised Attitude Scale Calculus Algorithm*).
- Voluntat de pagar/usar/comprar
- Classificació segons la importància

5.5 Projecte europeu AIDE

El projecte europeu AIDE (*Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE*) va estar actiu des de l'any 2004 fins a l'any 2008. El seu objectiu va ser la generació de coneixements i el desenvolupament de metodologies i tecnologies HMI (*Human-Machine Interface*) per a la integració segura i eficient d'ADAS, IVIS i dispositius nomàdics dins de l'entorn de conducció.

Va ser dut a terme per un gran consorci amb membres d'origens molt diversos:

- 9 fabricants d'automòbils:
 - Volvo (Suècia).
 - Fiat (Itàlia).
 - Renault (França).
 - PSA Peugeot-Citroën (França.)
 - BMW (Alemanya.)
 - DaimlerChrysler (Alemanya).
 - Ford (Alemanya).
 - Seat (Espanya).
 - Opel (Alemanya.)
- 5 empreses subministradores de productes d'automoció:
 - Bosch (Alemanya).
 - Telenostra (Noruega).
 - Nuance (Estats Units).
 - Siemens (Alemanya).
 - Motorola (Regnet Unit).
- 13 instituts d'investigació, departaments o universitats:
 - ICCS - *Institute of Communication and Computer Systems* (Grècia).
 - JRC - *European Commission - Joint Research Centre* (Itàlia).
 - VTT - *Technical Research Centre of Finland* (Finlàndia).
 - CIDAUT - *Fundación para la Investigación y Desarrollo en Automoción* (Espanya).

- INRETS - *Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité* (França).
 - CTAG - *Centro Tecnológico de Automoción de Galicia* (Espanya).
 - HIT - *Hellenic Institute of Transport* (Grècia).
 - BAST - *Bundesanstalt für Straßenwesen* (Alemanya).
 - VTI - *Swedish Road and Transport Research Institute* (Suècia).
 - *Universität Stuttgart* (Alemanya).
 - DIBE - *Department of Electronics and Biophysical Engineering, Università degli Studi di Genova* (Itàlia).
 - LiU - *Linköpings Universitet* (Suècia).
 - ITS - *Institute for Transport Studies, University of Leeds* (Regne Unit).
- La Xarxa d'Excel·lència europea ERTICO (*Intelligent Transport Systems and Services for Europe*).
 - L'empresa KITE Solutions - *Knowledge Information Technology Ergonomics* (Itàlia).

El subprojecte 2 d'AIDE es va enfocar en la determinació de les metodologies necessàries per a quantificar els efectes dels ADAS i els IVIS en la conducció [CNT04]. Un altre aspecte tractat per aquest subprojecte va ser la determinació de les metodologies necessàries per a el desenvolupament de dispositius que siguin altament usables pels usuaris. Els conjunt de metodologies esmentades es divideixen en tres categories principals:[CNT04]

- *Mètodes d'Inspecció*. Consisteixen en la inspecció per part dels examinadors dels aspectes d'usabilitat dels dispositius. Per això, aquests mètodes estan condicionats per l'anàlisi subjectiu que fa cada

expert i no estan basats en un model formal. Tanmateix, tenen com a avantatge el fet que permeten identificar aspectes millorables dels sistemes en les fases inicials del procés de desenvolupament.

- *Mètodes de Consulta.* Es basen en l'obtenció de dades mitjançant els usuaris. Són, com els mètodes d'inspecció, una font subjectiva de dades i per tant cal parar molta atenció en l'elecció de les persones que seran consultades.
- *Mètodes de Test.* Enfocats en la utilització del dispositiu o del prototipus del dispositiu per part d'un conjunt representatiu d'usuaris per verificar la seua compatibilitat amb la tasca de conducció. Aquestes proves poden fer-se en diferents entorns experimentals:
 - *Tests en Laboratori.* Estan basats en l'ús de simuladors de conducció de diversos nivells: des de simuladors bàsics a simulador d'alt nivell de realisme. Ofereixen variables molt controlades, manca de risc i desenvolupament flexible de diferents situacions i escenes de conducció.
 - *Tests en pista tancada.* És a dir, tests en un circuit dedicat únicament per a l'experimentació. Permeten controlar molt les variables i evitar els riscos de la conducció real. Nogensmenys, les dades estan esbiaixades per no tractar-se d'una prova amb trànsit real.
 - *Tests de Camp* (Field Operational Tests (*FOT*)). Són tests en carreteres reals amb trànsit real. Ofereixen dades més fiables però no es poden utilitzar en tots el casos a causa principalment dels riscos que comporta la conducció real.

La classificació de les mesures que proposa el projecte AIDE s'ha extreta dels informes 2.1.1 [CNT04] i 2.2.1 [JEC⁺04] del projecte. Estudiant aquests dos documents s'infereix que AIDE divideix les mesures en els grups següents:

- Models mentals i requeriments dels usuaris.
- Usabilitat i acceptació.
- Càrrega de treball.
- Consciència situacional.
- Execució de la conducció.
- Rendiment visual.

5.5.1 Models mentals i requeriments dels usuaris

Els models mentals fan referència a la manera de pensar i comportar-se que té l'usuari. Es poden utilitzar per a avaluar què vol o espera l'usuari d'un determinat sistema ADAS o IVIS. AIDE va proposar els següents mètodes per a l'extracció dels models mentals i els requeriments dels usuaris: [CNT04]

- Ordenació de targetes (*Card Sorting*).
- *Potato Head* (PH).
- Grups de discussió (*Focus Groups*).
- Entrevistes en profunditat.
- Qüestionaris.
- Diaris de camp.
- Anàlisi de tasques.
- Arbres de decisió.

TAULA 5.6: Mètodes d'avaluació de la usabilitat segons AIDE [CNT04]

MÈTODES AMB EXPERTS	Avaluació Heurística	
	Llista de verificació	
	Directrius	
MÈTODES AMB USUARIS	Mesures de la tasca secundària	Nombre d'errades
		Temps total de la tasca
		Enregistraments del sistema
	Mesures de la tasca primària	
	Mesures d'au- toinformes	Qüestionaris (Qüestionari de Brooke)
		Pensar en veu alta
		Aprenentatge per descobriment conjunt (CDL)
Tècniques dels Experts	Monitorització d'usuari	

5.5.2 Usabilitat i Acceptació

Com es va dir anteriorment la usabilitat fa referència a la facilitat d'ús i la interacció d'un dispositiu TICS. A la taula 5.6 es pot veure els diferents mètodes d'usabilitat que enumera AIDE.

Per altra part, l'acceptació expressa el desig del conductor de continuar utilitzant el dispositiu i la satisfacció amb el seu ús. AIDE cita tres mètodes d'extracció de mesures per a avaluar l'acceptació, tots ells es fan mitjançant autoinformes. Són els següents: [CNT04]

- Algorisme de Càlcul d'Escales d'Actitud Estandarditzat (*Standardised Attitude Scale Calculus Algorithm*).

TAULA 5.7: Mètodes d'avaluació de la càrrega de treball segons AIDE [CNT04]

MÈTODES D'AVALUACIÓ SUBJECTIVA	DE LA CÀRREGA DE TREBALL	ESCALES UNIDIMENSIONALS	<i>Modified Cooper Harper Scale (MCH)</i>
			<i>Overall Workload Scale (OW)</i>
			<i>Rating Scale Mental Effort (RSME)</i>
		ESCALES MULTIDIMENSIONALS	<i>NASA-TLX (Task Load Index)</i>
			<i>NASA bipolar rating scale</i>
			<i>PSA-TLX</i>
			<i>Driving Activity Load Index (DALI)</i>
			<i>Subjective Workload Assessment Technique (SWAT)</i>
	<i>Subjective Workload Dominance (SWORD)</i>		
	DE L'EXECUCIÓ DE LA CONDUCCIÓ (PRÒPIES)	<i>Driver Behaviour Questionnaire (DBQ)</i>	
		<i>Driving Quality Scale (DQS)</i>	
	DE L'EXECUCIÓ DE LA CONDUCCIÓ (EXPERTS)	<i>Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive (TRIP)</i>	
		<i>Wiener Fahrprobe</i>	
	MÈTODES DE LA TASCA SECUNDÀRIA	<i>Peripheral Detection Task (PDT)</i>	
		<i>Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT)</i>	
MESURES FISIOLÒGIQUES	EEG		
	Variabilitat del ritme cardíac/respiratori		
	Activitat electrodermal (EDA)		
	Resposta galvànica de la pell (GSR)		
	Tensió muscular		

- Voluntat de pagar/usar/comprar.
- Classificació segons la importància.

Com es veu, són els mateixos mètodes que va especificar la Xarxa d'Excel·lència Humanist.

5.5.3 Càrrega de treball

Són nombrosos els mètodes per a l'avaluació de càrrega de treball que AIDE cita, a la taula 5.7 es mostren tots ells junt amb la seua classificació.

5.5.4 Consciència situacional

Dins d'aquest grup es distingeixen dues tècniques per a l'extracció de mesures, ambdues mitjançant autoinformes. Són aquestes:

- *Situation Awareness Rating Technique* (SART).
- *Situation Awareness Global Assessment Technique* (SAGAT).

De la mateixa manera que HUMANIST i HASTE, AIDE indica que es poden fer servir mesures indirectes d'execució per tal d'avaluar la consciència situacional mitjançant la introducció de canvis en l'escena de conducció.

5.5.5 Execució de la conducció

AIDE diferencia tres grups de mesures d'execució de la conducció: [JEC⁺04]

TAULA 5.8: Mesures d'execució segons AIDE [JEC⁺04]

Grup	Subgrup	Mesura
CONTROL LONGITUDINAL	Velocitat	Mitjana
		Desviació estàndard
		Variància
		Màxim
		Canvi
	Distància entre vehicles	Mitjana
		Desviació estàndard
		Mínim
	Temps entre vehicles	Mitjana
		Desviació estàndard
		Mínim
	Temps per a la col·lisió (TTC)	Mínim
		Mitjana dels mínims locals
Temps d'exposició (TET)		
CONTROL LATERAL	Angle del volant	Desviació estàndard
		Variància
		Component d'Alta Freqüència (HFC)
		Canvis de direcció (SRR)
		Ràtio d'Acció (SAR)
		<i>Steering Entropy</i>
	Posició dins del carril	Mitjana
		Desviació estàndard
		Variància
	Eixides de carril	Nombre (LANEX)
Temps per a encreuar la línia (TLC)	Mediana	
	Nivell 15%	
DETECCIÓ D'ESDEVENIMENTS	Temps de resposta	
	Distància de resposta	
	Omissió de resposta	Nombre
	Respostes errònies	Nombre

- Control longitudinal.
- Control lateral.
- Detecció d'esdeveniments.

A la taula 5.8 es mostren les mesures d'execució que el projecte considera més adients i utilitzades. Com s'hi veu, AIDE agrupa les mesures en subgrups, de manera que cada subgrup representa un aspecte que es pot mesurar (velocitat, desplaçament lateral, etc.) i les mesures d'execució representen els estadístics o indicadors més elaborats que es poden obtenir de cada aspecte (mitjana, màxim, etc.).

Assenyalar també que en els documents del projecte quasi sempre es fa referència a les mesures amb la paraula anglesa *metrics* en comptes del terme *measure*.

5.5.6 Rendiment visual

En aquest grup s'inclouen les mesures relacionades amb l'execució visual. AIDE diferencia les següents: [JEC⁺04]

- Mesures relacionades amb la visió cap a una àrea d'interés:
 - Freqüència de mirades cap a una àrea d'interés.
 - Duració total de les mirades cap a una àrea d'interés.
 - Duració de la mirada cap a una àrea d'interés.
 - Temps sense mirar l'escena de conducció.
 - Temps de transició entre àrees d'interés.
 - Percentatge de temps en les àrees d'interés.
 - Probabilitat de mirar cap a una àrea d'interés.

- Probabilitat de transició entre àrees d'interés.
- Mesures no relacionades amb la visió cap a una àrea d'interés:
 - Freqüència de fixació.
 - Duració de fixació.
 - Variació de la fixació.
 - Freqüència de moviments sacàdics dels ulls.
 - Duració del moviment sacàdic.
 - Amplitud del moviment sacàdic.
 - Velocitat màxima dels moviments sacàdics.
 - Acceleració màxima dels moviments sacàdics.
- Tècnica d'oclusió visual.

Capítol 6

Classificació de les mesures de la conducció

6.1 Introducció

En el capítol anterior s'han estudiat quatre classificacions de les mesures de la conducció amb l'objectiu de fer una nova divisió que incloga tots els aspectes més rellevants entorn d'elles. Altrament, com ja es va dir al capítol 1, es considera que hi ha una manca important en tots els projectes i les normatives revisades: cap d'ells conté indicadors referents al nivell estratègic de la tasca de conducció. Per aquest motiu, en la nova classificació desenvolupada en la present tesi doctoral sí que s'inclouen mesures relacionades amb l'estratègia general del viatge.

Així doncs, la classificació de les mesures de conducció que es proposa diferencia quatre grups de mesures:

1. *Mesures de planificació estratègica.* Són les mesures relacionades

amb el nivell estratègic, és a dir, amb la planificació general del desplaçament.

2. *Mesures d'execució.* Reflecteixen l'execució de la tasca de conducció en ella mateixa. Aquestes mesures fan referència als nivells operatiu (control del vehicle) i tàctic (maniobres) del model jeràrquic.
3. *Mesures psicofísiques.* Realitzen una avaluació de l'estat físic i mental del subjecte experimental.
4. *Mesures específiques sobre TICS.* Representen les mesures relacionades estrictament amb l'avaluació de TICS.

6.2 Mesures de planificació estratègica

Dins de la planificació general del desplaçament s'inclouen totes les decisions referents als objectius del viatge, les rutes a prendre i el mitjà de transport a utilitzar, tot això en funció criteris com la comoditat, la durada i els costos i riscos que comporte el desplaçament [Mic79] [Mic85].

És evident que el conductor pot planificar el viatge amb molta antelació, atès que moltes de les qüestions de caràcter estratègic que té es poden decidir minuts o fins i tot dies abans. Tanmateix, allò més habitual és que la majoria d'aquestes decisions canvien just abans o durant el desplaçament.

Es poden arregar dades relatives a l'estratègia del conductor fent servir diversos mètodes, com ara: grups de discussió, entrevistes, qüestionaris, diaris de camp, etc. Aquestes tècniques també s'utilitzen per tal d'extraure mesures psicofísiques, fet pel qual seran explicades més endavant en la secció corresponent d'aquest capítol.

També es poden utilitzar experiments de conducció real o amb simuladors per a arregar paràmetres relacionats amb la planificació

estratègica. No obstant això, a l'hora de realitzar un experiment de conducció mitjançant simulació o proves en carretera existeixen comunament molts aspectes relatius a la planificació estratègica que han d'estar controlats i, per aquest motiu, no és possible que siguin especificats pel subjecte experimental. En eixos casos no totes les mesures estratègiques que s'enregistren tindran validesa.

Normalment la decisió del mitjà de transport a utilitzar és un dels principals aspectes no elegibles pel subjecte en les proves experimentals de conducció. Quan un subjecte fa una prova experimental normalment se li força a utilitzar un determinat tipus de mitjà de transport i, per tant, no és possible l'elecció d'un altre mètode de desplaçament. A més, la decisió de quin tipus de vehicle conduir també està tancada habitualment, car en moltes proves en carretera se sol utilitzar un únic automòbil instrumentalitzat per a la realització de l'experiment. Així mateix, en el cas dels simuladors allò més normal és disposar de només una cabina de conducció que modela un determinat model i marca d'automòbil.

Una possible solució en el cas dels simuladors seria fer servir una única cabina genèrica per a simular diversos models d'automòbil amb diferents comportaments dinàmics (potència, grandària, distància entre eixos, etc.) en seleccionar el programari del mòdul dinàmic adequat per a cada cas. D'altra banda, en el cas de les proves en carretera la solució consistiria a substituir el vehicle instrumentalitzat per la possibilitat que el subjecte utilitzara el seu propi vehicle amb la incorporació d'un sistema portàtil d'enregistrament de dades (*data logger*).

Per a comparar les dades d'una manera adient, en molts experiments orientats a la investigació i l'entrenament és desitjable que tots els subjectes facen els mateixos recorreguts i s'enfronten a les mateixes situacions de trànsit. Aquestes circumstàncies impliquen que, en aquests casos, la ruta a triar estiga preestablerta per l'experimentador abans de realitzar la prova de conducció. Tot i això, hi ha experiments en els quals no és necessari fixar la ruta que ha de fer el subjecte i per tant les mesures preses relatives

al trajecte que se segueix tindran validesa.

Un altre aspecte estratègic mesurable en els experiments de conducció és la utilització o no utilització de dispositius IVIS (*In-Vehicle Information Systems*) i ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*). Per a aconseguir prendre dades relatius a aquest aspecte es poden dissenyar experiments en els quals es permeta al subjecte triar si vol utilitzar o no aquests dispositius (GPS, telèfon mòbil, informació sobre el trànsit en emissores de ràdio, ESP, etc.) en diferents situacions de conducció.

No existeix pròpiament en la literatura una classificació dels paràmetres que es poden prendre entorn de la planificació estratègica. Per aquest motiu, es proposa a continuació una aproximació del conjunt de mesures estratègiques que es poden enregistrar. Aquesta aproximació inclou els següents indicadors:

- *Mitjà de transport*. Tipus de mitjà de transport triat i, si escau, marca i model.
- *Hora i data de viatge*. Hora i data triada per a fer el viatge.
- *Ruta*. Relació de trams de carreteres pels quals es passa.
- *Distància de viatge*. Suma total de les distàncies de cada tram del viatge.
- *Temps de viatge*. Temps que dura el viatge sense incloure les pauses.
- *Temps total del viatge*. Quantitat total de temps que dura el viatge incloent-hi les pauses.
- *Patró de viatge*. Aquesta mesura està relacionada amb les dues anteriors. Defineix el temps en moviment i les pauses del viatge.
- *Velocitat mitjana* (\bar{v}). Òbviament es correspon amb la divisió entre la distància i el temps de viatge.

- *Mitjana de la posició lateral (MLP)*. Posició lateral d'un punt del vehicle respecte als límits del carril o del centre de la carretera. Aquesta mesura està considerada com un indicador de l'estratègia de conducció perquè indica la tendència que té el subjecte a conduir cap a un extrem o un altre del carril [KKBM07].
- *Utilització de dispositius IVIS i ADAS*. Freqüència, temps i escenaris d'ús dels dispositius IVIS i ADAS.

Com s'ha vist en el capítol anterior, la Xarxa d'Excel·lència Humanist considera com a mesures d'execució la distància i el temps del viatge. Així i tot, en la present tesi doctoral es considera que ambdues mesures estan relacionades tant amb l'execució com amb la planificació general del desplaçament. Per altra part, també es consideren alhora com a mesures d'execució i estratègiques la velocitat mitjana i la mitjana de la posició lateral.

Els experiments basats en l'anomenada conducció naturalística són un bon tipus d'experiments que es poden fer servir per tal d'obtenir mesures estratègiques. Ja es va comentar al capítol 2 que aquests tipus d'estudis es basen en la conducció del subjecte d'una manera lliure i natural (sense obeir cap instrucció) i idealment conduint el seu vehicle propi. D'aquesta manera els experiments naturalístics són interessants ja que donen al conductor la llibertat de prendre decisions de caràcter estratègic.

El grup SINTEC de l'INTRAS va participar en el projecte europeu PROLOGUE (*PROMoting real Life Observation for Gaining Understanding of road user behavior in Europe*). Aquest projecte tenia com a objectiu demostrar la utilitat de la conducció naturalística en els estudis de seguretat viària. Dins del projecte, l'experiment fet a Espanya consistia a explorar les característiques dels vehicles instrumentalitzats per a dur a terme experiments naturalístics [VTPS10]. El vehicle utilitzat, anomenat ARGOS, va ser desenvolupat per l'UPM (*Universidad Politécnica de Madrid*) i va ser finançat per la DGT (*Dirección General de Tráfico*).

La conclusió principal d'aquest experiment va ser que els vehicles altament instrumentalitzats on els equips són molts visibles no són adequats per a fer estudis naturalístics.

6.3 Mesures d'execució

Com ja s'ha dit anteriorment aquestes mesures fan referència a l'execució de la tasca de conducció en si mateixa. La present tesi doctoral se centra principalment en l'estudi d'aquest tipus de mesures, fet pel qual es veuran detalladament en el capítol següent.

6.4 Mesures psicofísiques

Aquestes mesures pretenen mesurar l'estat psicofísic del conductor. Se solen utilitzar per a avaluar els següents aspectes del subjecte: [Jan07]

1. Càrrega de treball i distracció.
2. Consciència situacional.
3. Models mentals.

6.4.1 Càrrega de treball i distracció

Com es va comentar al capítol anterior, la càrrega de treball en la conducció té bàsicament tres dimensions: càrrega visual, càrrega motora i càrrega mental [RBdW⁺02]. La càrrega mental és l'esforç de raonament mental que ha de fer el conductor per a dur a terme totes les tasques associades al maneig del vehicle. D'altra banda, la distracció és un fenomen que en

moltes ocasions està directament relacionat amb la càrrega mental, si bé existeixen altres factors que poden provocar-la: cansament, son, monotonia, alcohol, drogues, etc.

Les mesures utilitzades més comunament pels investigadors per a avaluar la càrrega de treball i la distracció són:

Execució de la tasca primària

Quan la càrrega de treball és predictable, el subjecte tendeix a adaptar-se de manera que l'execució de la tasca primària de conducció siga més fàcil, aquest fenomen es denomina compensació de risc. Cada conductor accepta un determinat nivell de risc, si les condicions del trànsit canvien ell intenta adaptar-se per tal de mantindre el mateix nivell de risc. Tanmateix, un decrement en l'execució de la tasca primària no està relacionat sempre amb un increment de la càrrega de treball. Així mateix, un augment en l'execució de la tasca primària no sempre significa que hi haja un decrement de la càrrega. Quan l'execució de la tasca primària és relativament fàcil (és a dir, no suposa molta càrrega de treball) es pot fer servir una tasca secundària per a mesurar la càrrega [RBdW⁺02].

Per a mesurar l'execució de la tasca primària de conducció se solen utilitzar mesures d'execució com per exemple la desviació típica de la posició lateral del vehicle o dels moviments del volant [RBdW⁺02].

Execució de la tasca secundària

L'avaluació de l'execució d'una tasca secundària no relacionada amb la conducció ofereix una estimació de la càrrega del subjecte. Si la càrrega de la tasca primària és baixa, l'execució de la tasca secundària serà bona. Per contra, si la càrrega és alta, l'execució de la tasca secundària serà pobra.

Es poden fer servir diversos mètodes perquè el conductor execute tasques secundàries visuals, cognitives o manuals. De les nombroses tècniques que existeixen les més anomenades són:

- ***Peripheral Detection Task (PDT)***. És un mètode d'avaluació de la càrrega de treball i el nivell de distracció visual en la conducció fonamentat en la idea que el camp de visió es redueix si augmenta la càrrega. Consisteix en l'execució d'una tasca aliena a la conducció que inclou la presentació d'estímul en la visió perifèrica del conductor.

Aquesta tècnica va ser utilitzada dins d'un projecte realitzat per SINTEC i que va ser finançat per l'asseguradora *Línea Directa*. L'estudi es va dur a terme mitjançant el simulador SIMUVEG i pretenia avaluar els efectes de manipular un dispositiu GPS mentre es condueix [VBT⁺12]. El procés consistia a presentar en un moment determinat un senyal de trànsit en la part superior dreta de la pantalla central. El subjecte havia de respondre si aquest senyal pertanyia al codi de circulació o no, és a dir, si el senyal existia en la vida real. Una de les conclusions que es va extraure és que quan els subjectes estaven manipulant els GPS no només disminuïa el nombre d'errades en les respostes sinó que moltes vegades aquests no se'n adonaven que els senyals apareixien en la pantalla.

- ***Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT)***. És un mètode per a mesurar la funció cognitiva basat en l'avaluació de la velocitat de processament de la informació i l'habilitat de càlcul. Consisteix a presentar visualment o sonorament amb una determinada freqüència dígit al subjecte experimental, la tasca que ha de realitzar és sumar el dígit actual amb l'anterior.

Mesures subjectives de la càrrega de treball i la distracció

És interessant tindre una estimació subjectiva per part del conductor sobre la seua càrrega de treball i el seu estat d'atenció. Existeixen diversos mètodes per a realitzar aquestes estimacions:

- *NASA-TLX (NASA Task Load Index)*. És un procediment de valoració multidimensional que dóna una puntuació global de la càrrega de treball d'un subjecte. Està basat en la mitjana ponderada de sis factors: [HS88]
 - Exigència mental.
 - Exigència física.
 - Exigència temporal.
 - Esforç.
 - Rendiment.
 - Nivell de frustració.
- *RSME (Rating Scale Mental Effort)*. És un mètode basat en la valoració unidimensional de l'esforç mental invertit.
- *SWAT (Subjective Workload Assessment Technique)*. Es basa en una escala multidimensional que mesura la càrrega de treball en tres dimensions: [RN88]
 - Estrés temporal.
 - Estrés mental.
 - Estrés psicològic.
- *MCH (Modified Cooper-Harper)*. Utilitza un arbre de decisions per tal que el subjecte avalue la seua càrrega de treball. Es fonamenta en una escala unidimensional de deu ítems que s'afegeixen a una puntuació única.

- Escala de càrrega global (*Overall Workload Scale (OW)*). És un procediment que es basa en una escala bipolar unidimensional que va des de 0 (càrrega baixa) a 100 (càrrega alta).
- *NASA bipolar rating scale*. És la tècnica original en què es basa el mètode NASA-TLX. Consisteix en una escala multidimensional de deu ítems bipolars.
- *PSA-TLX (PSA Task Load Index)*. És un mètode desenvolupat pel grup PSA Peugeot-Citroën. Està basat en una escala multidimensional de set elements.
- *Driving Activity Load Index (DALI)*. És una tècnica d'avaluació multidimensional de sis elements desenvolupada per l'INRETS de França.
- *Subjective Workload Dominance (SWORD)*. Es basa en una tècnica anterior anomenada AHP (*Analytical Hierarchy Process*). És un mètode multidimensional que consisteix a avaluar parelles de tasques.

Atenció i execució visuals

És evident que el sentit més important en la tasca de conducció és la visió. En els últims anys els avanços de la tecnologia han incorporat noves sistemes d'ajuda, informació i entreteniment dins del vehicle. Aquest fet ha augmentat encara més la importància de la visió en la conducció, ja que els nous dispositius incorporats al vehicle requereixen més atenció visual per part del conductor.

Actualment la utilització sistemes d'*eyetracking* (sistemes de seguiment de moviments oculars) ha fet possible el mesurament en temps real i amb molta precisió de moltes mesures visuals associades a la tasca de conducció. Així doncs, els tipus paràmetres o tècniques relacionats amb la tasca visual en la conducció que se solen utilitzar són els següents:



FIGURA 6.1: Eyetracker Tobii X120

- *Paràmetres oculars basats en la fixació ocular.* Inclouen freqüència i duració de la fixació, canvis de direcció, etc. Una mesura interessant d'aquest grup és l'anomenat *Percent Road Center (PRC)* que es defineix com el percentatge de fixacions que estan dins de l'àrea central de la carretera, aquesta àrea es correspon amb el cercle de 16° de diàmetre centrat al voltant de l'angle de fixació més freqüent del conductor [Vic05].
- *Paràmetres oculars basats en la mirada cap a àrees d'interés.* Inclouen freqüència i duració de la mirada, temps de transició, temps total de mirades successives cap a una àrea d'interés, percentatge de temps mirant la carretera, mesures relacionades amb els moviments sacàdics dels ulls, etc. Els investigadors fan servir aquests paràmetres per a analitzar com el conductor observa els diferents objectes de l'escena de conducció (senyals, semàfors, d'altres vehicles, etc.). També s'utilitzen per a avaluar el grau d'atenció del conductor a la carretera quan està realitzant una tasca secundària. Dins d'aquest context la mesura anomenada *eyes-off-road-time* (temps mirant fora de la carretera) és una mesura amplament acceptada i vàlida de la demanda visual associada a la realització d'una tasca secundària i està altament correlacionada amb el nombre d'eixides de la via [CGB02].

- *Tècnica de l'oclusió visual.* És un mètode basat en la hipòtesi que el conductor no mira la carretera tot el temps i dedica certa quantitat de temps a observar uns altres elements de l'escena de conducció. Consisteix en l'oclusió total o parcial de la visió del conductor mitjançant una pantalla/visera o qualsevol altre dispositiu que s'obri o tanque a diferents intervals de temps (ulleres LCD per exemple). L'objectiu d'aquest mètode és simular les condicions en les quals un subjecte està interactuant amb un dispositiu mentre condueix (ràdio, telèfon mòbil, etc.) [Qun09].

Per a la presa de dades visuals en els experiments de conducció l'INTRAS disposa des de fa uns anys d'un *eyetracker* Tobii X120 de l'empresa Tobii Technology (vegeu figura 6.1). S'han començat a fer alguns experiments fent-lo servir i s'estan estudiant estratègies d'anàlisi de les dades obtingudes.

Mesures fisiològiques

L'estudi de les funcions biològiques del conductor permet obtenir indicadors de càrrega de treball. En aquest sentit, les mesures fisiològiques que s'inclouen habitualment en les proves experimentals de conducció són les següents:

- *Respiració.* La respiració està directament relacionada amb la càrrega de treball. Quan la càrrega de treball augmenta s'incrementa la freqüència i la profunditat de la respiració.
- *Ritme cardíac.* Aquest indicador està molt vinculat amb la respiració i per tant també s'incrementa amb la càrrega de treball.
- *Interval entre batecs (Interbeat Interval (IBI)).* Es correspon amb el temps que passa entre cada batec del cor i es redueix a mesura que augmenta la càrrega de treball [KE63].

- *Variabilitat del ritme cardíac.* Disminueix a mesura que augmenta la càrrega de treball [VTM87].
- *Electroencefalograma (EEG).* La disminució de la longitud i l'amplitud de l'ona (és a dir, l'augment de la freqüència i la disminució de l'altura de l'ona) està directament relacionades amb l'augment de la càrrega mental [RBdW⁺02].
- *Potencial relacionat amb esdeveniments (Event Related Potential (ERP)).* És un mètode que avalua la resposta del cervell davant qualsevol procés cognitiu. Es mesura mitjançant electroencefalografia (EEG).
- *Conductància de la pell.* Existeixen diverses tècniques que permeten mesurar el nivell de conductància de la pell al pas d'un lleuger corrent elèctric. Es pot citar entre d'altres: la resposta de conductància de la pell (SCR), la resposta galvànica de la pell (GSR) i l'activitat electrodermal (EDA).
- *Tensió muscular.* El nivell de tensió d'alguns músculs del cos augmenta amb la càrrega de treball [CNT04].
- *Mesures fisiològiques oculars.* Com ara diàmetre de la pupilla (major càrrega implica major diàmetre), freqüència de parpelleig (major càrrega implica menor freqüència) i direcció de la vista.
- *Nivells hormonals.* Les hormones més utilitzades per a mesurar la càrrega de treball són l'adrenalina, la noradrenalina i el cortisol [RBdW⁺02].

Dins del projecte ALERTA (vegeu capítol 4) es van estudiar algunes d'aquestes mesures (freqüència cardíaca i activitat cerebral bàsicament) mitjançant l'ús d'un aparell d'enregistrament de dades fisiològiques de l'empresa BIOPAC, Inc.

6.4.2 Consciència situacional

La consciència situacional és la percepció dels elements de l'entorn existents en un volum de temps i espai, la comprensió del seu significat i la projecció del seu estat en el futur proper [End95]. És un concepte important en la investigació de com els factors humans influeixen la conducció.

Els mètodes que se solen utilitzar per tal d'extraure mesures entorn de la consciència situacional en els estudis de conducció són els següents:

SAGAT (*Situation Awareness Global Assessment Test*)

Donades les característiques d'aquest mètode, només és aplicable en simuladors i no en experiments reals. El mètode consisteix a parar la simulació, mostrar una pantalla buida i fer preguntes rellevants als subjectes experimentals relacionades amb la consciència situacional (percepció, comprensió i projecció de la situació actual). Aquests han de respondre ràpidament a les preguntes de manera que la simulació pugui continuar. El mètode té el gran avantatge que els subjectes contesten a les preguntes quan la situació de conducció encara està "fresca" per a ells.

SART (*Situation Awareness Rating Technique*)

És un test post-prova subjectiu que utilitza deu indicadors per a mesurar la consciència situacional del subjecte en la conducció: familiaritat, repartiment d'atenció, quantitat d'informació, qualitat de la informació, inestabilitat de la situació, concentració, complexitat de la situació, variabilitat de la situació, activació i capacitat mental lliure. El subjecte ha d'avaluar cada indicador en un rang de valors d'1 (baix) a 7 (alt).

SA-SWORD (*Situation Awareness - Subjective Workload Dominance*)

És una tècnica derivada de la SWORD però adaptada a l'avaluació de la consciència situacional. Es fonamenta en l'avaluació per part del subjecte del grau de consciència situacional en comparar la informació proporcionada en diferents pantalles. Només és aplicable a experiments en laboratori.

Proves post-esdeveniment

Consisteix a preguntar i fer recapitular al subjecte sobre la seua conducció. Aquestes proves tenen diversos inconvenients: [RBdW⁺02]

- Molts dels aspectes són oblidats pel subjecte si la durada de la prova és llarga o el temps que passa entre que l'esdeveniment acaba i se li comença a preguntar és gran.
- Si les tasques a realitzar en l'experiment són molt dinàmiques (fet habitual en la conducció) és difícil avaluar tots els aspectes de la prova.

Qualificacions de l'observador

Consisteix a tindre un o diversos observadors que avaluen la consciència situacional del subjecte en la conducció. Té l'inconvenient que el subjecte se sent observat i això pot interferir és la seua actuació. La *Wiener Fahrprobe* és una de les tècniques més utilitzades. Aquesta tècnica també s'usa per tal d'extraure mesures d'execució.

Mesures indirectes d'execució

Es basen en la introducció de canvis en la situació de conducció i en l'avaluació de la modificació comportament del subjecte davant eixos canvis mitjançant mesures d'execució. S'extrauen mesures com ara detecció de riscos, precisió de la detecció i latència de resposta [RBdW⁺02].

Mesures fisiològiques

Es poden fer servir mesures fisiològiques com ara EEG i mesures extrems dels sistemes de seguiment de moviments oculars, encara que la seua interpretació i la seua relació amb la consciència situacional és complicada [RBdW⁺02].

6.4.3 Models mentals del conductor

El models mentals es refereixen als patrons de pensament que determinen la forma d'actuar de les persones. Estan formats per regles, idees, coneixements, imatges, etc. La consciència situacional forma part dels models mentals del conductors ja que es correspon amb el contingut actiu dels models mentals del subjecte quan pren decisions.

En aquesta secció es comenten els mètodes que s'utilitzen per a obtenir diferents indicadors dels models mentals dels conductors aliens a la consciència situacional. Aquests mètodes es fan servir principalment per a l'avaluació de TICS, tot i això, la seua utilització com a eina per a l'estudi d'altres aspectes relacionats amb la seguretat viària és igualment possible.

Ordenació de targetes (*Card Sorting*)

Es basa a veure com agrupen els subjectes un determinat nombre de targetes etiquetades amb diferents categories. Aquesta tècnica té dues variacions:

- *Oberta*. El subjecte ha d'ordenar les targetes en els grups que ell considere convenient. És a dir, els grups són creats pel propi subjecte.
- *Tancada*. Els grups ja estan creats prèviament, el subjecte només ha de ficat cada targeta en el grup que ell pense que és més adient.

Potato Head

Aquesta tècnica ajuda a identificar les preferències del conductor al volant de la instrumentació dels vehicles. El nom fa referència al joguet del mateix nom (més conegut a Espanya com a Mr. Potato) i consisteix en el fet que els subjectes poden triar la posició, grandària, color, etc. dels controls del vehicle. Posteriorment ells condueixen en un simulador per tal de verificar les seues eleccions i canviar-les si escau [GGJ92].

Grups de discussió (*Focus groups*)

Consisteixen en la reunió d'un grup de persones per a inspeccionar i avaluar un sistema. En les sessions hi ha un moderador que s'encarrega de realitzar les preguntes adequades i dirigir la discussió. Els subjectes s'han de sentir lliures de contestar i opinar sobre els temes tractats. Un dels majors inconvenients que té aquesta tècnica és que, per raons socials, en moltes ocasions no hi ha coincidència entre el que les persones diuen en la reunió i el que fan en la vida real.

Aquesta tècnica va ser utilitzada dins del projecte realitzat per

SINTEC i finançat per l'asseguradora *Línea Directa* que ja es va comentar anteriorment en aquest capítol, l'objectiu del qual era avaluar els efectes de manipular un dispositiu GPS mentre es condueix. El grup de discussió es va utilitzar per a obtenir les opinions dels usuaris entorn de diferents aspectes dels GPS com ara freqüència d'ús, eficàcia, eficiència, etc.

Entrevistes en profunditat

Són entrevistes individuals de llarga durada en les quals l'entrevistador arreplega i analitza les respostes, i dirigeix l'entrevista de manera que l'entrevistat se senta lliure i còmode per a parlar sobre els temes tractats.

Qüestionaris

Un qüestionari és un document format per un conjunt ordenat de preguntes redactades de manera adequada i orientades a traure conclusions sobre un determinat sistema. Allò desitjable és realitzar els qüestionaris durant la realització de l'experiment, és a dir, just abans i/o just després de la prova de conducció.

SINTEC va realitzar un projecte en col·laboració amb el Laboratori de Neurobiologia del *Centro de Investigación Príncipe Felipe*, la Fundació per a la Investigació de l'Hospital Clínic de València (INCLIVA) i el Grup Hepatologia de l'Hospital Clínic de València que estudiava l'alteració de la capacitat de conducció en els malalts amb cirrosi hepàtica [FUV⁺13]. Dins d'aquest projecte es feia una prova experimental amb el simulador EVICA abans de la qual es passava un qüestionari per tal d'esbrinar l'experiència en la conducció del subjecte experimental, la seua accidentalitat i el seu estat psicofísic en el moment de la prova.

Diaris de camp

És un instrument d'enregistrament d'aquella informació que és susceptible de ser interpretada com a fet significatiu dins de l'experiment, és a dir, és bàsicament una eina per a sistematitzar experiències que s'usa com a registre de la informació que és necessària per a l'anàlisi de les dades i l'elaboració de resultats. És recomanable que continga conclusions i que incloga informació global i específica enregistrada de manera cronològica.

Anàlisi de tasques

L'anàlisi de tasques té com a objectiu identificar les tasques que un usuari desitja realitzar utilitzant un sistema i com pot acabar-les eficientment [CNT04]. Hi ha nombroses tècniques que es poden fer servir per tal de realitzar aquest tipus d'anàlisi.

Arbres de decisió

És una tècnica que es basa en la utilització d'una estructura amb forma d'arbre, és a dir, composta per nodes i branques. Els nodes finals (les fulles) representen els valors finals, els nodes interns representen decisions o accions i les branques són els possibles camins a seguir. S'usen bàsicament per a ajudar en els processos de presa de decisions.

6.5 Mesures específiques sobre TICS

Dins d'aquest conjunt de mesures s'inclouen les relacionades únicament amb l'avaluació dels TICS. L'estàndard ISO/DIS 17207/2003 defineix un conjunt de mesures sobre TICS anomenat adaptació del comportament [fS03] que

no es té en compte en aquesta secció, atés que els paràmetres que conté són de fet mesures d'execució. Recordem que l'adaptació del comportament fa referència a la comparació entre la utilització o no dels dispositius i entre els graus d'experiència en el seu ús. Conseqüentment, es proposen només els dos següents tipus de mesures específiques sobre TICS:

- Usabilitat
- Acceptació

6.5.1 Usabilitat

Com es va dir en el capítol anterior, la usabilitat expressa la facilitat d'ús i el grau d'interacció del sistema TICS. Les mesures i tècniques emprades per a avaluar la usabilitat van ser perfectament definides pel projecte AIDE (vegeu taula 5.6). Nogensmenys, manca en aquesta taula una mesura definida per l'estàndard ISO/DIS 17207/2003: el temps de reacció del TICS. Recordem que aquest mateix estàndard assenjala que es poden utilitzar mesures d'execució i de càrrega de treball per tal d'avaluar la usabilitat [fS03].

El conjunt de mètodes o indicadors adients per a mesurar la usabilitat queda definit amb els següents elements:

- *Avaluació heurística.* Es correspon amb l'examinació per part d'un grup reduït d'experts de les característiques d'un sistema per tal d'avaluar que aquest segueixca les heurístiques (criteris) d'usabilitat requerides.
- *Llista de verificació (CheckList).* És una tècnica similar a l'avaluació heurística però que consisteix en una llista tancada de criteris a avaluar. És a dir, un altre expert ha de definir prèviament

quins criteris s'han d'avaluar i de quina manera (habitualment són preguntes dicotòmiques).

- *Directrius (Guidelines)*. Són directrius d'usabilitat que el sistema ha de seguir. Un grup d'experts hauran de triar el conjunt de directrius que són desitjables per al sistema i avaluar si són respectades per ell.
- *Nombre d'errades*. Nombre i tipus d'errades trobades pel conductor en interactuar amb el TICS.
- *Temps total de la tasca o temps de finalització de tasca*. Temps que tarda el conductor a acabar una tasca usant el TICS.
- *Temps de reacció del TICS*. Temps que passa des que el conductor actua fins que el TICS respon.
- *Enregistraments del sistema*. És un mètode d'enregistrament automàtic o manual de cadascuna de les seqüències d'interaccions que l'usuari fa en utilitzar el sistema, així com els temps necessaris.
- *Mesures de la tasca primària*. Per tal d'avaluar la usabilitat es poden fer servir diverses mesures d'execució com ara velocitat, angle del volant, posició lateral. etc. A més, es pot enregistrar en vídeo la cara del subjecte i les seues interaccions amb el TICS [CNT04].
- *El qüestionari de Brooke*. També és conegut com SUS (*System Usability Scale*). Es va desenvolupar per John Brooke [Bro96] i consisteix en una escala d'actituds de deu ítems que dona una visió general de l'opinió subjectiva d'una persona entorn de la usabilitat d'un dispositiu determinat.
- *El protocol de pensar en veu alta*. Consisteix a demanar als usuaris que diguen en veu alta cadascun dels pensaments que tenen en utilitzar un dispositiu concret: què fan en cada moment, què pensen fer, què senten, etc.

- *L'aprenentatge per descobriment conjunt (Co-Discovery Learning (CDL))*. És similar al protocol de pensar en veu alta, però en aquest cas el sistema s'utilitza per dues persones que treballen conjuntament per tal de realitzar un conjunt definit de tasques que se'ls ha demanat prèviament que facen.
- *La monitorització d'usuaris*. Consisteix simplement en l'observació per part d'experts d'uns usuaris que estan fent servir un sistema.

6.5.2 Acceptació

Com es va veure anteriorment, l'acceptació expressa la voluntat de l'usuari de continuar utilitzant un dispositiu. Les mesures o tècniques utilitzades per a avaluar l'acceptació s'extrauen de les que AIDE i Humanist van coincidir a enumerar. Són les següents:

- *Algorisme de Càlcul d'Escales d'Actitud Estandaritzat (Standardised Attitude Scale Calculus Algorithm)*. S'anomena també escala Van der Laan perquè va ser desenvolupat per aquest i d'altres col·laboradors [vdLHW97]. Consisteix en l'avaluació d'un sistema mitjançant un qüestionari de nou ítems on els usuaris han de puntuar cadascun d'ells amb un valor entre -2 i +2. Els ítems fan referència a característiques desitjables del sistema (utilitat, efectivitat, amigabilitat, etc.)
- *Voluntat de pagar/usar/comprar*. És a dir, la predisposició dels conductors per a comprar un sistema. Existeixen diverses tècniques per a extraure aquesta mesura com ara qüestionaris, comparació entre diferents dispositius, entrevistes, etc.
- *Classificació segons la importància*. Consisteix en l'avaluació de la importància d'un conjunt d'ítems que els usuaris han de classificar segons un determinat criteri. D'aquesta manera és possible identificar

quins són els ítems a considerar a l'hora de desenvolupar un sistema [KKBM07].

Capítol 7

Mesures d'execució

7.1 Introducció

Les mesures d'execució fan referència a la tasca de conducció en si mateixa, és a dir, als nivells tàctic i operatiu; estan per tant íntimament relacionades amb la seguretat viària. Per altra part, la selecció de les mesures adients a cada experiment ha d'estar basada en consideracions com el tipus de sistema que s'avaluarà o en les teories i les conclusions obtingudes en investigacions prèvies sobre el comportament dels conductors [YRL09].

En aquest punt és convenient introduir tres conceptes que fan referència a les propietats desitjables de les mesures:

- *Validesa*. Denota la certesa del significat de la mesura; és a dir, que està mesurant exactament allò que es necessita i cap altre aspecte més.
- *Fiabilitat*. Es concep com la consistència, precisió o estabilitat de

les mesures quan el procés de mesurament es repeteix [PD10]. Amb la variabilitat de les puntuacions obtingudes en diferents repeticions del mesurament es pot obtenir un indicador de la fiabilitat de les mesures; si la variabilitat dels valors és gran, es considerarà que els valors són imprecisos i, en conseqüència, poc fiables.

- *Sensibilitat.* Es refereix a la capacitat de la mesura per a detectar canvis.

En general la validesa de les mesures d'execució és alta. No obstant això, la fiabilitat i la sensibilitat estan fortament relacionades amb uns altres factors que influeixen en la conducció com ara l'entorn de la carretera o les situacions de trànsit. Per això és important parlar especial atenció al disseny de les situacions experimentals, al traçat i a l'entorn de la carretera. Una bona opció és crear proves fortament controlades en les quals d'alguna manera s'obligue a tots els subjectes a afrontar les mateixes situacions de trànsit als mateixos trams de la via.

En el capítol 5 de la present tesi s'han vist diferents classificacions de les mesures d'execució a partir de diverses fonts de prestigi. En aquest sentit, a la taula 7.1 es mostra un resum d'aquestes classificacions indicant-hi a quins projectes està associat cada mesura i a quin grup pertany. Tenint en compte aquesta informació es proposa que les mesures d'execució es classifiquen en els següents grups:

- Control longitudinal del vehicle
- Control lateral del vehicle
- Accions del conductor
- Detecció d'esdeveniments
- Mesures subjectives

TAULA 7.1: Mesures d'execució en diferents normatives i projectes

Mesura	HASTE	ISO 17287	HUMANIST	AIDE
Nombre d'accidents	√ ¹			
Nombre d'avançaments perillousos	√			
Maniobres executades		Adaptació ²		
Temps de viatge			Long ³	
Distància de viatge			Long	
Velocitat mitjana	Long	Long	Long	Long
Desviació típica de la velocitat	Long	Long	Long	Long
Velocitat màxima				Long
Canvi de velocitat	<i>Long</i> ⁴			Long
Acceleració longitudinal			Long	
Distància entre vehicles (DH)	Long		Interaccions	Long
Temps entre vehicles (TH)	Long	Long	Interaccions	Long
Temps per a la col·lisió (TTC)	Long	Long	Interaccions	Long
Mitjana de la posició lateral (MLP)	Lateral ⁵		Lateral	Lateral
Desviació típica de la posició lateral (SDLP)	Lateral	Lateral	Lateral	Lateral

¹En gris les mesures referenciades en HASTE però no considerades com a mesures obligatòries o opcionals

²Adaptació del comportament. Grup de mesures independent de les mesures d'execució segons l'estàndard ISO 17287

³Control longitudinal

⁴En cursiva les mesures utilitzades en HASTE malgrat no estar definides inicialment en el projecte

⁵Control lateral

Mesura	HASTE	ISO 17287	HUMANIST	AIDE
Desviació típica de l'angle del volant (SDST/STS)	Lateral	Lateral		Lateral
Angle del volant			Conductor ⁶	
Amplitud del volant		Lateral		
Canvis de direcció del volant (SRR)	Lateral	Lateral	Conductor	Lateral
Ràtio d'acció del volant (SAR)				Lateral
Girs ràpids del volant (RSWT)	<i>Lateral</i>			
<i>Steering entropy</i>	Lateral		Conductor	Lateral
Component d'alta freqüència de l'angle del volant (HFC)	Lateral		Conductor	Lateral
Temps per a encreuar la línia (TLC)	Lateral	Lateral	Lateral	Carril ⁷
Eixides de carril (LANEX)	Lateral	Lateral	Lateral	Carril
Nombre de passos per zero (ZERO)	Lateral			
Temps fora del carril	Lateral			
Distància fora del carril	Lateral			
Carril ocupat		Adaptació		
Velocitat lateral			Lateral	
Acceleració lateral absoluta			Lateral	
Acceleració lateral relativa a la carretera			Lateral	

⁶Accions del conductor

⁷Permanència al carril

Mesura	HASTE	ISO 17287	HUMANIST	AIDE
Temps després d'abandonar la zona de conflicte (PET)	✓		Interaccions	
Frenades brusques	✓		Conductor	
Força del fre			Conductor	
Ús de l'accelerador		Adaptació		
Ús del fre		Adaptació		
Ús de controls secundaris	✓	Adaptació	Conductor	
Detecció d'objectes a la vora de la carretera		Escena ⁸		
Temps de resposta/reacció	✓	Adaptació	Distracció ⁹	Esdev ¹⁰
Distància de resposta				Esdev
Omissió de resposta				Esdev
Respostes errònies				Esdev
Protocol de l'observador de Lund/ <i>Wiener Fahrprobe</i>	Subj ¹¹		Observ ¹²	Treb ¹³
<i>Driving Behaviour Questionnaire (DBQ)</i>	Subj			Treb
<i>Driving Quality Scale (DQS)</i>	Subj			Treb
<i>Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive (TRIP)</i>	Subj			Treb

⁸Consciència de l'escena de conducció

⁹Càrrega de treball i distracció. Humanist considera el temps de resposta una mesura de càrrega de treball i no d'execució

¹⁰Detecció d'esdeveniments

¹¹Mesures subjectives

¹²Mètodes observacionals

¹³Càrrega de treball. AIDE les considera mesures d'execució però dins del grup de càrrega de treball

TAULA 7.2: Mesures d'execució extretes de les proves experimentals de SINTEC

Grup	Mesura
LONGITUDINAL	Diferència de velocitat entre vehicles
	Temps per damunt de la velocitat màxima
	Temps per davall de la velocitat màxima
LATERAL	Distància lateral mínima entre vehicles
	Distància lateral mitjana entre vehicles
	Màxima diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle
	Desviació típica de la diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle
ACCIONS DEL CONDUCTOR	Temps revolucionat
	Nombre de canvis de marxa
	Nombre de col·lisions

Tanmateix, no s'inclouran algunes de les mesures que es poden veure a la taula 7.1, principalment pel fet que són més bé paràmetres que es fan servir per a calcular mesures i no pròpiament mesures. És el cas de les mesures següents:

- Angle del volant
- Velocitat lateral
- Acceleració lateral absoluta
- Acceleració lateral relativa a la carretera

D'altra banda, s'afegiran addicionalment unes altres mesures no incloses a la taula 7.1 i que es deriven principalment dels estudis experimentals fets

pel grup SINTEC de l'INTRAS al llarg d'anys d'investigació (vegeu taula 7.2).

A continuació es veuen cadascun dels grups en els quals es classifiquen les mesures d'execució.

7.2 Control longitudinal del vehicle

Aquest grup de mesures inclou a totes aquelles relacionades amb la progressió del vehicle al llarg de la carretera, és a dir, a la progressió del vehicle paral·lelament a les línies del carril.

Com és lògic, totes les mesures d'execució incloses en aquest grup estan relacionades directament o indirectament amb la velocitat del vehicle. Els experts en trànsit i seguretat viària estan d'acord que hi ha una forta relació entre velocitat i risc d'accident. L'elecció de la velocitat està determinada per nombrosos factors, entre d'altres:

- Experiència, capacitats i estat del conductor.
- Motivacions socials (acceptació, competitivitat, etc.)
- Rendiment i estat del vehicle.
- Aconseguiment d'objectius temporals (arribar prompte o a temps).
- Límits de velocitat legals.
- Presència de radars o agents de trànsit.
- Presència d'altres persones dins del vehicle.
- Volum de trànsit i velocitat de la resta de vehicles.
- Característiques geomètriques i estat de la via.

- Condicions meteorològiques
- Lluminositat.
- Execució de tasques secundàries.

D'altra banda, dins del control longitudinal es pot fer una diferenciació entre les mesures que tenen en compte la progressió d'un únic vehicle i les que consideren més d'un vehicle. A aquest últim pertanyen les mesures que Humanist va incloure en el grup anomenat interaccions (veure taula 7.1). Com és lògic, no és possible mesurar-les si no existeix cap vehicle proper al vehicle conduït. Tampoc té sentit considerar-les quan els vehicles ni tan sols són vistos pel conductor. Com a conseqüència d'açò, únicament es podran enregistrar de manera més o menys contínua en situacions de trànsit dens, més comunes en ciutat o els seus voltants.

A continuació es veuen cadascuna de les mesures de control longitudinal.

7.2.1 Temps de viatge

Quantitat de temps que dura el viatge sense incloure les pauses. Ja es va comentar que aquesta mesura pot ser també una mesura de planificació estratègica.

7.2.2 Distància de viatge

Quantitat d'espai que s'ha recorregut durant el viatge. També es considera com una mesura estratègica.

7.2.3 Velocitat mitjana

Fa referència a la mitjana de la velocitat del vehicle durant un determinat període de temps, una certa quantitat de distància recorreguda o durant tota la prova de conducció.

Aquesta mesura és molt important perquè habitualment els conductors tendeixen a reduir la velocitat en situacions de risc per a compensar els efectes negatius en la seguretat viària. Per això, en circumstàncies molt controlades una reducció de la velocitat és indicativa, per exemple, d'un augment de la demanda de realització de tasques secundàries [fS03]. Com major és la velocitat mitjana, major és el risc d'accident. Açò implica que la validesa d'aquesta mesura siga gran. Per tot el que s'acaba de dir és fàcil entendre que aquesta mesura es faça servir en pràcticament tots els estudis experimentals.

Òbviament la velocitat mitjana es calcula segons la següent fórmula:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^N v_i}{N}$$

On:

- \bar{v} és la velocitat mitjana.
- N és el nombre de vegades que s'ha mesurat la velocitat.
- v_i és el valor de la velocitat en un instant determinat.

Tot i això, per al càlcul algorísmic d'aquesta variable no és necessari emmagatzemar tots els valors instantanis de la velocitat. La solució consisteix a fer servir dues variables: una que arrebregara el sumatori acumulat de la velocitat en tots els instants mesurats i una altra que

arreplegarà el nombre d'instantants. Aquest algorisme es podrà utilitzar també per al càlcul de la mitjana de qualsevol mesura d'execució.

Altrament, si el càlcul de la mitjana de la velocitat està associat a un interval de temps o espai relativament tan menut que faça que els canvis de velocitats siguin insignificants, és recomanable en aquest cas estalviar-se el càlcul i prendre només un dels valors possibles. Evidentment, aquesta forma d'actuar es pot aplicar també a qualsevol mesura.

7.2.4 Desviació típica de la velocitat

Es refereix a la variabilitat de la velocitat durant un període de temps, una distància o una prova. La variabilitat de la velocitat està associada a la percepció de risc, és a dir, una percepció de risc alta suposa una variabilitat de la velocitat elevada (sobretot en situacions de trànsit dens) [fS03]. Per tant, la validesa d'aquesta mesura és alta i consegüentment és utilitzada habitualment en moltes proves experimentals.

La desviació típica de la velocitat es calcula segons la següent fórmula:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2}{N}}$$

On:

- σ_v és la desviació típica de la velocitat.
- \bar{v} és la velocitat mitjana.
- N és el nombre de vegades que s'ha mesurat la velocitat.
- v_i és el valor de la velocitat en un instant determinat.

Com s'observa, per al càlcul de la desviació típica de la velocitat amb aquesta fórmula és necessari l'emmagatzematge de cadascun dels valors instantanis de la velocitat (valors v_i). Nogensmenys, existeix una altra fórmula que fa el mateix càlcul i no necessita guardar aquestes dades, és la següent:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N} - \bar{v}^2}$$

Ja s'ha vist en el punt anterior que per a calcular la mitjana (\bar{v}) és necessari guardar el sumatori de velocitats instantànies i el nombre d'instantis. Per al càlcul de la desviació típica segons aquesta última fórmula caldrà emmagatzemar a més el sumatori dels quadrats de les velocitats instantànies. Òbviament es podrà fer servir la fórmula per a obtenir la desviació típica de qualsevol mesura.

7.2.5 Velocitat màxima

Denota la velocitat màxima del vehicle durant un interval de temps o una determinada distància. Pels mateixos motius que en el cas de la velocitat mitjana, la validesa d'aquesta mesura és alta.

És una mesura utilitzada als simuladors EVICA i ALERTA per a mesurar les reaccions dels conductors davant diverses situacions de trànsit, principalment situacions de risc.

7.2.6 Canvi de velocitat

És la diferència entre la velocitat final i la velocitat inicial d'un vehicle en un interval de temps o distància. Com que té un significat similar a la desviació típica de la velocitat, la seua validesa és alta.

Un dels resultats del projecte ALERTA (vegeu capítol 4) va ser que el canvis de velocitats ajudaven a mantindre el nivell d'alerta [TC02]. Aquesta mesura també s'utilitza en els simulador EVICA i SIMUVEG per tal d'avaluar diverses situacions en les quals pot haver una variació de la velocitat (aparició de vehicles, corbes, senyals de trànsit, avançaments, etc.).

7.2.7 Acceleració longitudinal

És una mesura similar al canvi de velocitat, ja que correspon al canvi de velocitat per unitat de temps. És a dir que es calcula segons la fórmula:

$$a_{long} = \frac{\Delta v}{t}$$

On:

- a_{long} és l'acceleració longitudinal.
- Δv és el canvi de velocitat en un interval de temps.
- t és el temps de duració de l'interval.

7.2.8 Temps per damunt/davall de la velocitat màxima

Aquestes mesures fan referència a la quantitat total de temps que el vehicle supera o no supera la velocitat màxima de cada tram de via. En aquest sentit, la velocitat màxima és defineix com la velocitat legal màxima d'un segment de la carretera, és a dir, que es correspon amb:

- La velocitat genèrica màxima del tram de la carretera en els casos d'absència de qualsevol tipus de senyalització (horitzontal, vertical, agents de circulació, etc.).
- La velocitat màxima marcada per la senyalització en la resta de casos.

Evidentment la suma d'aquestes dues variables és equivalent al temps total de viatge. Per tant, idealment el temps per davall de la velocitat màxima ha de ser igual al temps total del viatge. La validesa de les dues mesures és alta.

7.2.9 Diferència de velocitat entre vehicles

Es correspon amb la diferència de velocitat entre dos vehicles en un instant determinat (avançaments, seguiment entre vehicles, etc.):

$$\Delta v_{AB} = v_A - v_B$$

On:

- Δv_{AB} és la diferència de velocitat entre els vehicles A i B .
- v_A és la velocitat del vehicle A (vehicle perseguidor).
- v_B és la velocitat del vehicle B (vehicle precedent).

És una mesura no inclosa en cap de les fonts estudiades en la tesi però que, malgrat això, sí se sol utilitzar en les proves experimentals per a l'anàlisi de diferents situacions. Altrament, la validesa d'aquesta mesura és relativa i dependrà de les condicions en les quals es prenga.

Aquesta mesura s'usa en els simuladors EVICA i SIMUVEG per a avaluar els avançaments i d'altres tipus d'interaccions entre vehicles.

7.2.10 Distància entre vehicles (*Distance Headway (DH)*)

És la distància que hi ha entre la part de darrere un vehicle i la part de davant d'un altre que el persegueix. La validesa d'aquesta mesura no és molt alta ja que no té en compte la velocitat de cap dels dos vehicles: una distància entre vehicles curta pot significar risc d'accident o no en funció de la velocitat dels vehicles.

És una mesura que es fa servir als simulador EVICA i SIMUVEG per tal de mesurar, per exemple, les distàncies que hi ha respecte als vehicles que s'avancen, tant al principi de la maniobra com al final.

7.2.11 Temps entre vehicles (*Time headway (TH)*)

És l'interval de temps que hi ha entre un vehicle i el que li precedeix. També es pot calcular com la distància que hi ha entre els dos vehicles (*Distance Headway*) dividida per la velocitat del vehicle perseguidor:

$$TH = \frac{DH}{v_A}$$

On:

- DH és la distància entre el vehicle A i el vehicle B (*Distance Headway*).
- v_A és la velocitat del vehicle A (vehicle perseguidor).

Aquesta mesura no té en compte la velocitat del vehicle de davant. Per tant, una definició més precisa seria que correspon amb el temps que tardaria a col·lidir un vehicle amb un altre situat davant que està parat.

Si el temps entre vehicles és gran la probabilitat de col·lisió és baixa. Conseqüentment, la validesa d'aquesta mesura és alta.

Les autoritats fan servir aquesta mesura per a recomanar el temps de seguretat mínim que ha d'haver entre vehicles, ja que aquest és fàcilment calculable pel conductor: només s'han de comptar els segons de diferència entre dos vehicles que passen pel mateix punt. En molts països el temps de seguretat mínim recomanat és de 2 segons, aquesta norma s'anomena regla dels 2 segons (*2-second rule*).

A vegades es confon aquesta mesura amb el temps de col·lisió. Però, com es veurà en l'apartat següent, el seu càlcul i el seu significat són diferents.

7.2.12 Temps de col·lisió (TC) (*Time-to-Collision* (TTC))

És el temps que tardarien a xocar dos vehicles si continuaren amb la mateixa velocitat, direcció i sentit. La seua validesa és alta ja que normalment com més menut és el temps de col·lisió més gran és el risc d'accident. Com es veu a la fórmula de baix, aquesta mesura resulta de la divisió entre dues de les mesures que s'han vist anteriorment: la distància entre vehicles i la diferència de velocitat entre vehicles. Per tant segueix aquesta fórmula:

$$TTC = \frac{DH}{\Delta v_{AB}}$$

On:

- DH és la distància entre el vehicle A i el vehicle B (*Distance Headway*).
- Δv_{AB} és la diferència de velocitat entre els vehicles A i B .

Quan el temps de col·lisió no es pot enregistrar de forma contínua o

quasi contínua la sensibilitat i fiabilitat de valors baixos (risc de col·lisió) és mínima [fS03]. A mesura que augmenta la continuïtat en la presa d'aquesta variable o, el que és el mateix, a mesura que augmenta el nombre de vehicles propers la sensibilitat i la fiabilitat creixen fins a arribar a valors elevats en situacions d'alta densitat de trànsit [fS03].

Per a una situació determinada el valor calculat del temps de col·lisió (TTC) no pot ser menor que el del temps entre vehicles (TH), açò implica que un valor menut de TH implica un perill potencial d'accident i un valor menut de TTC representa un perill real d'accident [Vog03]. Habitualment es considera que si el temps de col·lisió és inferior a 1.5 segons el risc d'accident és alt.

Alguns dels estadístics que es poden calcular amb aquesta mesura són [JEC⁺04] :

- *Mínim.* Valor mínim del *TTC*.
- *Mitjana dels mínims locals.* Mitjana dels valors on el *TTC* arriba a un mínim local.
- *Temps d'exposició (TET).* Es correspon amb el percentatge de temps en el qual el *TTC* en menor que un determinar valor (llindar crític).

7.2.13 Temps després d'abandonar la zona de conflicte (*Post-Encroachment Time (PET)*)

Es correspon amb la diferència de temps que hi ha entre dos vehicles que passen per la mateixa zona espacial [Lau06]. Es pot veure també com el temps que passa des que el primer vehicle deixa d'envair la zona de conflicte fins que l'altre arriba al punt potencial de col·lisió. Aquesta zona coincideix

habitualment amb interseccions o incorporacions. La validesa d'aquesta mesura és alta, car valors baixos indiquen alt risc d'accident.

7.3 Control lateral del vehicle

S'integren en aquest grup totes aquelles mesures relacionades amb el moviment transversal del vehicle dins de la carretera, és a dir, aquelles relacionades amb la posició lateral del vehicle dins del carril.

7.3.1 Mitjana de la Posició Lateral (MLP)

Representa la mitjana de totes les distàncies entre un punt fix del vehicle i la línia esquerra o dreta de la carretera [KKBM07]. Així i tot, en molts estudis la posició lateral del vehicle es defineix com la distància que hi ha entre el centre del vehicle i el centre del carril, de manera que els valors iguals a 0 signifiquen que el vehicle està perfectament col·locat al centre del carril. També se solen utilitzar com a punts de referència la roda davantera dreta o la roda davantera esquerra. Aquesta mesura fa referència a la tendència del conductor a conduir més o menys centrat al carril. Ja es va veure al capítol 6 que la mitjana de la posició lateral és alhora una mesura d'execució i de planificació estratègica.

7.3.2 Desviació típica de la posició lateral (SDLP)

Es correspon amb la desviació estàndard de la posició lateral del vehicle en relació amb el carril. Es veu fortament afectada per la velocitat del vehicle, l'amplària del carril i les maniobres de conducció, no obstant això, la seua fiabilitat i sensibilitat són altes en circumstàncies controlades [fS03]. D'altra banda, existeix una gran relació entre aquesta mesura i la probabilitat que

el vehicle s'isca de la via, per això el seu grau de validesa és alt [fS03].

7.3.3 Distància lateral mínima/mitjana entre vehicles

La distància lateral entre vehicles es defineix com la distància que hi ha entre el costat d'un vehicle i el costat més proper d'un altre vehicle que està pròxim i en paral·lel. És un indicador útil per a, per exemple, avaluar avançaments o encreuaments entre vehicles que van en diferent sentit. La distància lateral mínima està relacionada amb el risc de col·lisió i la mitjana de la distància lateral indica més bé la tendència que té el conductor a estar més o menys a prop dels costats dels altres vehicles. Encara que aquestes mesures no estan incloses en les quatre fonts de classificació de les mesures estudiades, sí que són utilitzades en alguns estudis experimentals de seguretat viària i als simuladors EVICA i SIMUVEG

7.3.4 Desviació típica de l'angle del volant (SDST)

L'angle del volant és el desplaçament en graus de la posició del volant respecte a la posició en la qual el vehicle es desplaça en línia recta. La validesa de la desviació típica de l'angle del volant és alta només en proves experimentals molt controlades en què es conduïska per una carretera recta i a una velocitat fixa [fS03], en els casos en els quals la velocitat varie i la conducció siga per una carretera sinuosa aquesta mesura manca de validesa.

7.3.5 Nombre de passos per zero (ZERO)

Es correspon amb el nombre de vegades que l'angle del volant canvia de signe (passa pel valor zero). Serveix per a estimar les correccions del volant que fa el conductor, de manera que valors alts d'aquesta mesura indiquen un comportament erroni. Com en el cas de l'SDST la seua validesa

està condicionada per la curvatura de la carretera (major validesa quan la curvatura és menor).

D'altra banda, per a permetre la comparació dels valors d'aquesta mesura entre diferents proves experimentals o situacions, es divideix el nombre de passos per la distància recorreguda [KKBM07]. De manera que finalment la seua fórmula és la següent:

$$ZERO = \frac{N_{ZERO}}{d}$$

On:

- N_{ZERO} és el nombre de passos per zero.
- d és la distància recorreguda.

7.3.6 Amplitud del volant (*Steering amplitude*)

És l'amplitud màxima en graus que abasta el volant durant un determinat període de temps o una determinada distància. En principi l'amplitud del volant pot tindre una validesa alta a l'hora de mesurar els efectes de la fatiga i la càrrega mental. No obstant això, els treball experimentals que s'han fet fent servir aquesta mesura són escassos i per tant no es pot afirmar molt al volant de la seua fiabilitat i sensibilitat [fS03].

7.3.7 Taxa de canvis de direcció del volant (*Steering Wheel Reversal Rate (SRR)*)

Fa referència a la freqüència de canvis de direcció del volant que estan per damunt d'un determinat llindar expressat en graus. Habitualment el

llindar seleccionat està entre 0,5 i 10 graus [MH80]. Tot i això, el llindar òptim és difícil de calcular; generalment el que es fa en els experiments és utilitzar diferents grandàries i triar aquella que provoqui un efecte més gran. Nogensmenys, s'ha d'anar amb compte de no triar un valor tan gran que faci que els canvis de direcció siguin un esdeveniment poc habitual.

Els treballs experimentals han demostrat que la validesa, fiabilitat i sensibilitat d'aquesta mesura són bones només en un reduït grup de tasques [fS03]. S'obté segons la fórmula:

$$SRR = \frac{N_{canvis > x}}{t}$$

On:

- $N_{canvis > x}$ és el nombre de canvis de direcció majors que el llindar triat
- t és el temps en què s'ha pres la mesura

Un estudi fet per Malaterre [Mal94] va calcular l'SRR per unitat de distància en comptes de per unitat de temps. L'estudi va demostrar que aquest forma de calcular-lo té més sensibilitat a la distracció en la conducció [JEC⁺04].

7.3.8 Ràtio d'acció del volant (*Steering Wheel Action Rate* (SAR))

És una mesura definida per Verwey [Ver91] que calcula el nombre de vegades per segon que la velocitat del volant és major que un determinat llindar. És a dir, es calcula segons la fórmula:

$$SAR = \frac{N_{vel>x}}{t}$$

On:

- $N_{vel>x}$ és el nombre de vegades que la velocitat del volant és major que el llindar triat
- t és el temps en què s'ha pres la mesura

Com es veu, aquesta mesura és pareguda a l'SRR però canviant graus per velocitat (graus per segon).

7.3.9 Girs ràpids del volant (*Rapid Steering Wheel Turns* (RSWT))

És una mesura utilitzada dins del projecte HASTE que es correspon amb el nombre de vegades per segon que la velocitat del volant està dins d'un determinat rang de valors [JCJ⁺05], és doncs molt similar al SAR. Segueix la fórmula:

$$RSWT = \frac{N_{y>vel>x}}{t}$$

On:

- $N_{y>vel>x}$ és el nombre de vegades que la velocitat del volant està entre un determinat rang de valors.
- t és el temps en què s'ha pres la mesura

7.3.10 Component d'alta freqüència de l'angle del volant (*High Frequency Component of the Steering Wheel Angle (HFC)*)

L'angle del volant és un senyal que varia en el temps. Malgrat tot, és possible convertir aquest senyal del domini temporal en un senyal en el domini de freqüències mitjançant la transformada de Fourier, el resultat és una corba espectral. Un símil d'aquesta conversió és el funcionament de l'oïda humana que descompon el senyal sonor en una sèrie de freqüències per a identificar els fonemes d'un idioma.

L'HFC va ser proposat per McLean i Hoffman en comprovar que el rang de freqüències de l'angle del volant (obtingut mitjançant la transformada de Fourier) entre 0.3 i 0.6 Hz és sensible a l'execució d'una tasca secundària [MH71][MH75]. Aquesta variable reflexa i s'enfoca en les correccions del volant. Per tant, té una alta sensibilitat i constitueix un bon indicador de l'execució de la conducció. L'HFC es calcula com la densitat espectral de potència de l'angle del volant, és a dir, l'àrea davall de la corba espectral entre les dues freqüències esmentades. Tanmateix, dins del projecte HASTE es va proposar que aquesta variable s'obtinga segons la següent fórmula: [sNC⁺04]

$$HFC = \frac{P_{band}}{P_{all}}$$

$$P_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

On:

- *all* és la Transformada de Fourier del senyal de l'angle volant filtrat mitjançant un filtre passa-baix Butterworth de segon ordre amb

freqüència de tall 0.6 Hz

- $band$ és el senyal all filtrat mitjançant un filtre passa-alt Butterworth de segon ordre amb freqüència de tall 0.3 Hz
- P_x és la mitjana quadràtica del senyal x
- x_i és el valor i del senyal x
- N és el nombre de valors del senyal x

7.3.11 Entropia de la direcció (*Steering Entropy*)

L'entropia de la direcció quantifica l'esforç del conductor a mantindre's entre els límits laterals. Quan un subjecte condueix i no pateix cap tipus d'interferència provocada per l'execució d'una tasca secundària o per l'aparició d'algun esdeveniment inesperat, el seu control del volant es realitza d'una manera suau i progressiva. Però, si el subjecte està realitzant alguna tasca aliena a la conducció, la seua capacitat de concentració i fins i tot la seua visió patiran intervals d'absència sobre l'escena de conducció. Després d'aquests intervals el conductor haurà de realitzar moviments bruscos del volant per tal d'afrontar la situació de conducció que no ha sigut capaç de preveure. En aquest context, l'entropia de la direcció quantifica l'increment de correccions d'alta freqüència de l'angle del volant que resulta després de períodes de distracció o atenció reduïda [Boe05]. És per tant una mesura que té una sensibilitat molt alta.

El seu valor s'obté mitjançant el càlcul de les errades de predicció del senyal de l'angle del volant i la distribució d'aquestes errades [JEC⁺04]. Una errada de predicció equival a la diferència entre el valor real i el valor predit de l'angle del volant si es continuara conduint de la mateixa manera, és a dir, la conducció sense moviments bruscos del volant genera pocs errades de predicció. El càlcul original dels valors predits fet per Nakayama et al. [NFNB99] està basat en una expansió de Taylor de segon ordre fent

servint els tres darrers valors reals de l'angle del volant. Nogensmenys, Boer fa servir un model autoregressiu per tal de calcular els mateixos valors [Boe05].

Com s'acaba de dir, el càlcul de l'entropia es basa en la distribució de les errades de predicció. En primer lloc s'obté la distribució de les errades produïdes en la conducció normal del subjecte, és a dir, sense l'execució de cap tasca secundària. D'aquesta distribució s'extrau el valor α que es correspon amb el percentil 90, de manera que aquest valor serà menor (distribució més estreta) quan la conducció siga més suau. A continuació es divideix la distribució en un nombre determinat de blocs (9 en el cas de Nakayama et al. [NFNB99]) basant-se en α . Els valors dels límits d'aquests blocs es faran servir per a dividir la distribució de les errades del subjecte executant una tasca secundària. D'aquesta manera, Nakayama et al. calculen l'entropia segons la fórmula [NFNB99] :

$$H_{Nakayama} = \sum_{i=1}^9 -p_i \log_9 p_i$$

On:

- p_i és la probabilitat d'estar al bloc i de la distribució de les errades generada amb la conducció amb una tasca secundària

Aquesta fórmula proporciona valors en un rang entre 0 i 1, de manera que el valor més propers a 0 denoten una conducció més suau.

Per altra part, Boer va suggerir una altra manera diferent de calcular l'entropia. Ell proposa que es facen servir models autoregressius per al càlcul de les errades de predicció i que l'entropia s'obtinga tenint en compte les probabilitats de la distribució d'errades que es genera amb la conducció amb una tasca secundària i, a més a més, les probabilitats de la distribució

d'errades sense tasca secundària. Així, Boer calcula l'entropia segons la fórmula: [Boe05]

$$H_{Boer} = \sum_{i=1}^N -p_i \log_2 p_i^{base}$$

On:

- N és el nombre de blocs (Boer recomana 14 blocs [Boe05])
- p_i és la probabilitat d'estar al bloc i de la distribució de les errades generada amb la conducció amb una tasca secundària
- p_i^{base} és la probabilitat d'estar al bloc i en la distribució de les errades generada amb la conducció base (sense tasca secundària)

Boer afirma que l'entropia calculada d'aquesta manera és més sensible que l'HFC i que l'entropia proposada per Nakayama et al. [Boe05]

7.3.12 Màxim/desviació típica de la diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle

Aquesta és una mesura desenvolupada per als simuladors SIMUVEG i EVICA. La tangent en un punt determinat de la carretera indica quina és la seua curvatura en eixe punt. En conducció normal (és a dir, conducció no agressiva ni esportiva) és desitjable que la tangent del vehicle siga molt similar a la tangent de la carretera, és a dir, que la diferència entre ambdues siga pròxima a 0. Aquest valor es representa millor amb un percentatge, de manera que:

- 100% significa que el cotxe està girat 90 graus a l'esquerra respecte a la carretera.

- -100% significa que el cotxe està girat 90 graus a la dreta respecte a la carretera.

Aquestes dues mesures (màxim i desviació típica) són indicadors del grau d'adequació de la conducció al traçat de la via.

Quan s'ha comentat anteriorment la mesura ZERO (nombre de passos per zero) s'ha dit que la seua validesa està condicionada per la curvatura de la carretera, ja que compta el nombre de canvis de signe de l'angle del volant. En la present tesi doctoral es considera que es podria fer una variació d'aquesta mesura fent servir la relació entre la tangent de la carretera i la del vehicle. D'aquesta manera el punt zero faria referència a que la diferència entre la tangent de la carretera i la del vehicle siga 0, i per al càlcul de la mesura es comptarien els canvis de signe d'aquesta diferència. Teòricament aquesta nova mesura és bastant més vàlida que la mesura ZERO per a traçats sinuosos.

7.3.13 Temps per a encreuar la línia (*Time to Line Crossing* (TLC))

El TLC és el temps que tardaria qualsevol part del vehicle a arribar a una de les línies del carril si continuara amb la mateixa velocitat i direcció. Si el vehicle es mou cap a la dreta es mira quan la roda frontal dreta del vehicle xafa la línia dreta del carril i si es mou cap a l'esquerra quan la roda frontal esquerra xafa la línia esquerra. Com més menut és el valor del TLC, més probabilitat d'eixir del carril hi ha. La validesa d'aquesta mesura és alta: valor alts de TLC representen que es condueix amb seguretat. Malgrat que el nombre d'experiments amb TLC és reduït, sembla que la sensibilitat i la fiabilitat d'aquesta mesura és alta [fS03].

El càlcul correcte del TLC és a priori bastant complex, es pot fer mitjançant la resolució d'una equació quadràtica [KKBM07] o bé

mitjançant mètodes trigonomètrics [vWBdW00]. Així, van Winsum et al. van estudiar les correlacions entre el càlcul trigonomètric del TLC i dues aproximacions senzilles per a obtindre'l [vWBdW00]. Les fórmules d'aquestes aproximacions són les següents:

$$TLC_1 = \frac{d_{lat}}{v_{lat}}$$

$$TLC_2 = \frac{d_{lat}}{v_{lat} + v_{lat2}}$$

On:

- d_{lat} és la distància entre la roda frontal i la línia exterior del carril
- v_{lat} és la velocitat lateral
- v_{lat2} és la velocitat lateral projectada en passar un segon

La primera aproximació es fa servir en molts estudis, però la seua correlació amb el càlcul correcte del TLC és molt pobra. Nogensmenys, la segona aproximació correlaciona prou bé amb el càlcul trigonomètric i per tant és recomanable utilitzar-la en els estudis d'avaluació del control lateral dels conductors [vWBdW00]. De fet és l'aproximació que s'ha fet servir als simulador SIMUVEG i EVICA.

Els estadístics que se solen aplicar al TLC són els següents: [CNT04]

- \widetilde{TLC} . Mediana dels valors del TLC.
- $P_{15}(TLC)$. Percentil 15 dels valors del TLC.
- TLC_{min} . Valor mínim del TLC en un segment determinat.

- $\overline{TLC_{min}}$. Mitjana dels valors mínims del TLC calculats.
- $\%TLC_{min} > X$. Percentatge dels valors mínims del TLC que són majors que un determinat llindar.

Un altre estadístic interessant és l'anomenat Percentatge de Control Lateral (*Percentage of Lateral Control (PCL)*). Aquest va ser proposat pel director del grup SINTEC Pedro Valero [VBT⁺12]. Es calcula dividint el recorregut en seccions de deu metres, comptabilitzant els episodis de $TLC < 2s$ (risc d'eixida del carril) en cada secció i calculant el percentatge de seccions que no presenten aquests episodis. Els valors propers a 100 representen un elevat control lateral i els propers a 0 un baix control lateral.

7.3.14 Eixides del carril (*Lane boundary excursion (LANEX)*)

Aquesta mesura té diferent significat en funció de quina part del vehicle es prenga com a referència per a comprovar si s'ha eixit del carril. Alguns autors consideren que el vehicle se n'ha eixit si la part exterior del neumàtic toca la línia del carril [sNC⁺04]. Així i tot, existeix una altra definició més restrictiva que només comptabilitza les eixides si més de la meitat del vehicle sobrepassa la línia del carril [LSD99], o el que és el mateix, si el centre del vehicle la sobrepassa.

La fiabilitat d'aquesta mesura és acceptable, però no és tan alta com d'altres relacionades amb la posició lateral, ja que el nombre de vegades que el vehicle pot eixir-se'n és habitualment baix. Altrament, la validesa de la mesura és alta, puix que una eixida del carril suposa posar-se en situació de risc d'accident [fS03].

La manera més habitual d'enregistrar aquesta mesura és comptabilitzar el nombre d'eixides del carril o bé el percentatge de temps durant el qual el vehicle ha sobrepassat els límits del carril, encara que hi ha d'altres

formes de calcular-la. En les fórmules següents s'arrepleguen les maneres més comunes d'obtindre el LANEX:

$$LANEX_1 = N \text{ [fS97]}$$

$$LANEX_2 = \frac{t_{out}}{t} \text{ [TGS+99]}$$

$$LANEX_3 = \frac{N}{d} \text{ [KKBM07]}$$

$$LANEX_4 = t_{out} \text{ [RBdW+02] [Jan07]}$$

$$LANEX_5 = d_{out} \text{ [RBdW+02]}$$

On:

- N és el nombre d'eixides del carril.
- t_{out} és el temps que el vehicle ha sobrepassat els límits del carril. Apareix en HASTE com a *temps fora del carril*.
- t és el temps total.
- d_{out} és la distància que el vehicle ha recorregut fora dels límits del carril. Apareix en HASTE com a *distància fora del carril*.
- d és la distància total recorreguda.

7.4 Accions del conductor

Aquest grup de mesures d'execució conté totes aquelles relacionades amb, d'una banda, l'ús dels controls del vehicle i, d'altra banda, les maniobres executades pel conductor. S'hi inclouen mesures com ara:

- Frenades brusques.
- Força del fre.
- Ús de l'accelerador.
- Ús del fre.
- Ús de controls secundaris (intermitents, llums, etc.).
- Temps revolucionat (temps en què les revolucions per minut del motor són elevades).
- Nombre de canvis de marxa.
- Nombre d'accidents/collisions.
- Nombre d'avançaments perillosos.
- Carril ocupat.
- D'altres maniobres executades.

7.5 Detecció d'esdeveniments

Aquest grup engloba les mesures relacionades amb la manera que el conductor reacciona davant certs esdeveniments del trànsit (frenades brusques dels vehicles precedents, encreuaments d'altres vehicles o de vianants, etc.).

D'altra banda, la presentació d'estímuls aliens a la tasca primària de conducció no té cabuda dins d'aquest conjunt de mesures sinó que realment està associat amb l'avaluació de tasques secundàries. A continuació es mostren els paràmetres relacionats amb la detecció d'esdeveniments que se solen fer servir.

7.5.1 Detecció d'objectes a la vora de la carretera

Consisteix en l'enregistrament del nombre i del tipus d'objectes situats als extrems de la carretera que el conductor ha detectat de manera conscient [fS03]. Els objectes més rellevants són els senyals de trànsit i els vianants.

7.5.2 Temps de resposta i temps de reacció

El temps de resposta representa el temps total que tarda un conductor a percebre, avaluar, decidir i reaccionar davant una situació a la via [Rob12]. Habitualment es confon els termes temps de resposta i temps de reacció, però en realitat no tenen el mateix significat. El temps de reacció es defineix com el temps que passa des que el subjecte percep una situació d'emergència i decideix com reaccionar fins que comença a prendre una acció per tal d'evitar-la (frenar, moure el volant, etc.). És a dir, la diferència entre aquests dos conceptes està en els temps que el subjecte utilitza per a percebre i analitzar la situació d'emergència. Açò s'expressa mitjançant la fórmula següent:

$$\text{Temps de resposta} = \text{Percepció/Decisió} + \text{Temps de Reacció}$$

Per altra part, hi ha autors que diferencien dues maneres de calcular el temps de resposta [WTK⁺96]. La primera manera defineix el temps de resposta com el temps que passa des de la presentació de l'estímul fins

que el conductor respon (verbalment o actuant sobre els comandaments del vehicle, etc.), és a dir, aquesta definició es correspon amb la que s'ha vist. La segona manera calcula el temps de resposta com el temps que passa des que el subjecte respon fins que passa per davant d'un estímul fix situat a la via.

Nombrosos factors com ara càrrega mental, cansament, edat, consum d'alcohol o drogues augmenten el temps de resposta. El temps de reacció humà és de l'ordre de dècimes de segon mentre que el temps de resposta és de l'ordre de segons.

7.5.3 Distància de resposta

Fa referència a la distància que hi ha entre el conductor i l'estímul quan aquest respon correctament.

7.5.4 Omissions de resposta

Representa el nombre de vegades que el subjecte no ha respost res davant la presentació de l'estímul.

7.5.5 Respostes errònies

Es correspon amb el nombre de respostes incorrectes a l'esdeveniment o estímul presentat.

7.6 Mesures subjectives

Hi ha diferents mètodes que permeten extraure mesures subjectives entorn de l'execució de la conducció. A més, en funció de qui és la persona que avalua la conducció es diferencien dos tipus de tècniques :

- *Autoavaluació*. El subjecte avalua la seua pròpia execució de la tasca de conducció (mètodes DBQ i DQS).
- *Avaluació d'experts*. La valoració de l'execució de la tasca primària es fa mitjançant l'observació realitzada per un o diversos experts (Protocol de l'observador de Lund/*Wiener Fahrprobe* i TRIP).

7.6.1 DBQ (*Driving Behaviour Questionnaire*)

El *Driving Behaviour Questionnaire* va ser desenvolupat per Reason et al. a la Universitat de Manchester [RMS⁺90], per açò també es anomenat *Manchester Driving Behaviour Questionnaire*. Aquest qüestionari, que ha de ser complimentat pel conductor, ha sigut traduït a nombrosos idiomes i adaptat a diferents països, incloent Espanya [dCMCS06]. La prova té com a objectiu principal identificar comportaments insegurs en el trànsit i categoritzar l'actuació del conductor segons tres factors: errades, infraccions i lapsus. Modificacions posteriors al qüestionari han afegit un quart factor: l'agressivitat en la conducció.

7.6.2 DQS (*Driving Quality Scale*)

Dissenyat per Brookhuis et al. [BUN01], és un qüestionari en el qual el conductor ha de respondre a la pregunta: *Com de bé pensa vosté que ha conduït durant la prova en comparació de com ho fa habitualment?*. A

continuació d'aquesta pregunta es mostra una línia vertical on l'extrem superior està etiquetat amb *He conduït extremadament bé*, l'extrem inferior amb *He conduït extremadament malament* i el punt intermedi amb *He conduït com habitualment (normal)*. El subjecte ha de marcar una creu en el punt de la línia on valore que se situa adequadament la seua conducció. La resposta del conductor es codifica entre els valors 100 (molt bé) i -100 (molt malament), és a dir, que el valor 0 es correspon amb una conducció normal.

7.6.3 Protocol de l'observador de Lund/*Wiener Fahrprobe*

La *Wiener Fahrprobe* és un mètode desenvolupat per Risser [Ris85] per a l'estudi de conductor novells, encara que el seu ús es pot estendre a la resta de conductors. Es basa en l'observació d'un o dos experts situats dins del vehicle que acompanyen el conductor mentre segueix un ruta preestablerta. Un observador pren dades basades en un qüestionari estandarditzat, com ara: adaptació de la velocitat en encreuaments i davant obstacles, posició lateral dins del carril, canvis de carril, distància al vehicle precedent, interaccions amb uns altres vehicles o vianants, etc. L'altre observador s'encarrega de prendre mesures no estandarditzades com conflictes, situacions de perill, comunicacions, interaccions, esdeveniments especials, etc. Si es disposa només d'un expert es preferible que arregleue dades estandarditzades. El protocol de l'observador de Lund és una variant reduïda d'aquest mètode.

7.6.4 TRIP (*Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive*)

És un mètode dissenyat a la Universitat de Groningen (Holanda) per Brouwer i Withaar [BW97] per a avaluar les capacitats operacionals i tàctiques dels conductors després de patir una lesió cerebral traumàtica.

Posteriorment ha sigut adaptat per a avaluar altres tipus de conductors com ara persones majors [RPK01] o malalts cerebrals. Nogensmenys, el seu ús com a eina d'avaluació de l'execució de la conducció de qualsevol conductor és totalment vàlida. El test es divideix en diverses seccions en les quals l'expert ha de puntuar diversos aspectes de la conducció i incloure obligatòriament comentaris si la puntuació assignada en cada cas és la més baixa possible. Finalment, se sumen les puntuacions i l'expert fa una valoració de l'aptitud del subjecte per a conduir.

Capítol 8

Conclusions i treball futur

En aquest últim capítol de tesi es durà a terme la descripció de les conclusions que s'han extret de la tesi i el possible treball futur que es pot realitzar.

8.1 Conclusions

Un dels fonaments de la investigació científica empírica és la replicació de proves experimentals per tal d'obtenir resultats més precisos. Per a que es pugen integrar les dades de diferents experiments és necessari que aquests compartisquen un conjunt de característiques molt similars o idealment idèntiques:

- Instruments.
- Procediments experimentals.
- Conjunt de mesures experimentals.

- Mètodes de càlcul de les mesures.

Evidentment, en el cas de la simulació de conducció també és necessari que les probes experimentals tinguin característiques similars per a que les dades obtingudes en cadascun d'elles siguin comparables. Per tal d'aconseguir-ho és desitjable emprendre accions per a homogeneïtzar els simuladors de conducció.

L'estandardització dels simuladors de conducció és una tasca complexa ja que a mesura que passa el temps i augmenta la tecnologia aquests són millors i més avançats, i les seues característiques varien notablement respecte als sistemes anteriors. A més, molts dels simuladors que s'utilitzen en investigació estan fets adhoc en funció del seua finalitat; fet pel qual el seu maquinari, el seu programari i els escenaris de conducció que representen són significativament diferents entre ells.

Així doncs, seria convenient estudiar estratègies per a homogeneïtzar els simuladors, de manera que cadascun d'ells complisca una sèrie de característiques que facen que les dades que proporcionen es puguen afegir a les que ja s'han pres anteriorment en uns altres experiments o a les que es puguen prendre en el futur.

Una bona orientació que es podria seguir és definir un conjunt estàndard de situacions de conducció prototipus que puguen ser implementades en qualsevol simulador, de manera que la comprovació de la homogeneïtat consistiria a identificar si els resultats obtinguts en diferents simuladors són significativament semblants en les mateixes situacions de conducció i amb mostres de subjectes similars.

L'avaluació de la conducció dels subjectes als simuladors s'ha de fer mitjançant el càlcul d'una sèrie de mesures els valors de les quals puguen ser revisats i analitzats. Per tant, és molt important l'elecció del tipus de mesures que serà convenient per a cada situació de conducció en particular, així com dels mètodes de càlcul de cadascuna d'elles.

En aquest context, la tesi doctoral ha abordat l'estudi de les mesures que es poden utilitzar en els experiments de trànsit i seguretat viària fets amb simuladors. S'ha de tindre en compte que moltes de les mesures que es poden prendre als simulador també es poden enregistrar en conducció real. Nogensmenys, en aquest últim cas existeix un conjunt de mesures que o bé són difícils de prendre o bé necessiten la instal·lació de dispositius d'elevat cost, com ara aquelles relacionades amb la posició lateral del vehicle respecte al carril o amb les distàncies entre vehicles.

Per tant, és clar que a l'hora de realitzar un experiment de conducció la determinació de quines mesures es prendran i de quina manera és un dels aspectes bàsics per a que aquest siga útil. El ventall de possibles mesures relacionades amb l'avaluació de la conducció és molt gran, així, el fet de diferenciar-les en funció de diferents criteris és un aspecte que ajuda enormement a la correcta elecció d'aquelles que siguen més adequades.

En aquest sentit, en la present tesi s'han estudiat diferents projectes i normatives d'àmbit internacional per tal d'obtindre informació entorn de les mesures que es poden utilitzar en els estudis de trànsit i seguretat viària. L'objectiu principal d'aquest estudi és facilitar el procés d'elecció d'aquelles que són adients per a cada cas concret. Així doncs, allò més convenient és fer la classificació de les mesures en diferents categories, i exposar els noms i els mètodes o algorismes de càlcul de cadascuna d'elles.

8.1.1 Classificació proposada

En el panorama actual dels experiments de seguretat viària hi ha diferents fonts que especifiquen i classifiquen les mesures que es poden prendre i avaluar en els estudis reals o de simulació. Nogensmenys, cap d'aquestes classificacions engloba totes les possibles mesures que es poden utilitzar i, a més, els grups de mesures que defineixen no coincideixen entre ells.

TAULA 8.1: Proposta de grups i subgrups de mesures de la conducció

MESURES DE PLANIFICACIÓ ESTRATÈGICA		
MESURES D'EXECUCIÓ	Control longitudinal	
	Control lateral	
	Accions del conductor	
	Detecció d'esdeveniments	
	Mesures subjectives	
MESURES PSICOFÍSiques	CARREGA DE TREBALL I DISTRACCIÓ	Execució de la tasca primària
		Execució de la tasca secundària
		Mesures subjectives
		Atenció i execució visuals
		Mesures fisiològiques
	CONSCIÈNCIA SITUACIONAL	SAGAT, SART, SA-WORD
		Proves post-esdeveniment
		Qualificacions de l'observador
		Mesures indirectes
		Mesures fisiològiques
	MODELS MENTALS	Ordenació de targetes (<i>Card Sorting</i>)
		<i>Potato Head (PH)</i>
		Grups de discussió (<i>Focus Groups</i>)
		Entrevistes en profunditat
		Qüestionaris
		Diaris de camp
		Anàlisi de tasques
Arbres de decisió		
MESURES SOBRE TICS	USABILITAT	
	ACCEPTACIÓ	

Davant aquesta manca de d'informació, la tesi ha fet un estudi de distintes fonts d'informació d'alta rellevància per tal de recopilar les mesures de la conducció que es fan servir en els estudis experimentals, així com per a definir els grups on s'inclouen cadascuna d'elles.

En la taula 8.1 es mostra la classificació de les mesures de conducció que s'ha proposat en la tesi com a conclusió de l'estudi de les distintes fonts d'informació: d'una banda els projectes HASTE, Humanist i AIDE, i l'estàndard ISO/DIS 17207/2003; i d'altra banda, els experiments de conducció fets pel grup d'investigació SINTEC de l'INTRAS.

En primer lloc, cal destacar que totes les fonts estudiades coincideixen a definir un grup de mesures de la conducció que conté les mesures d'execució, és a dir, aquelles que estan relacionades directament amb la tasca primària de conducció. Nogensmenys, cadascuna d'aquestes fonts classifica les mesures d'execució de diferent manera, encara que amb algunes similituds. Bàsicament diferencien si les mesures són objectives o subjectives, o si fan referència al control lateral o longitudinal del vehicle. També s'identifiquen d'altres tipus de mesures d'execució que estan relacionades amb la interacció amb els comandaments del vehicle o amb la detecció d'esdeveniments del trànsit. S'ha de ressaltar el fet que nombroses mesures d'execució estan contemplades en més d'una font de classificació i són poques les mesures que apareixen en només una font (vegeu taula 7.1).

Una altra conclusió estreta de l'anàlisi de les classificacions és el fet que moltes de les mesures de la conducció que no són d'execució poden agrupar-se en tres grups; anomenats mesures de càrrega de treball, mesures de consciència situacional i models mentals dels conductors. Aquests grups tenen com a aspecte en comú que estan relacionats amb l'estat físic i mental del conductor, fet pel qual tots ells pertanyen a un grup més gran que s'ha anomenat mesures psicofísiques o, com les definia Humanist, mesures sobre l'estat del conductor.

També s'ha considerat que la classificació proposada en la tesi ha

d'incloure mesures relacionades exclusivament amb l'avaluació del TICS. Aquestes estan integrades en els grups d'usabilitat i acceptació, però no s'hi ha afegit el grup definit per l'estàndard ISO/DIS 17207/2003 anomenat adaptació del comportament, en considerar-se que aquest conté únicament indicadors que poden definir-se perfectament com a mesures d'execució.

Finalment, i com a aportació important de la tesi, s'han especificat un grup de mesures que conté aquelles relacionades amb la planificació del desplaçament. Es considera una aportació important perquè no existeix pròpiament en la literatura una classificació de les mesures de la conducció que incloga les de planificació estratègica; encara que algunes mesures estratègiques són alhora mesures d'execució, com ara la velocitat mitjana o el temps de viatge.

8.2 Definició dels algorismes de càlcul de les mesures

Tan necessari com classificar les mesures de la conducció és definir en els casos que siga convenient les fórmules o algorismes que es fan servir per al seu càlcul.

És important assenyalar que és habitual que algunes mesures d'execució es definisquen de distinta manera en cada experiment, o bé tinguen un significat diferent per a cada investigador o grup d'investigadors. Un altre problema afegit és el fet que normalment no se sol especificar quins han sigut els mètodes de càlcul de cadascuna de les mesures que es fan servir en una prova experimental.

Per aquests motius, la tesi ha emfatitzat tant en l'estudi dels diferents significats que poden tindre les mesures com en el seus procediments de càlcul en cada cas.

Un exemple molt representatiu respecte als diferents significats que pot tindre una mesura és la forma de calcular les mesures relacionades amb la posició lateral del vehicle. Per a calcular la posició lateral s'han de triar dos punts de referència: una part del vehicle i una posició de la carretera. Alguns estudis experimentals fan servir com a punts de referència la part central del vehicle i el centre del carril; tanmateix, d'altres calculen la posició lateral com la distància entre una de les rodes davanteres i la línia del carril del mateix costat.

En el cas de la mesura anomenada LANEX (*Lane boundary excursion*), que representa les eixides del carril, els possibles significats són nombrosos; perquè depenen en primer lloc de quina part del vehicle i de la carretera es preguen com a referència, i en segon lloc de la manera de calcular-la. Com es veu al capítol 7 hi ha almenys cinc formes de calcular el LANEX dependent de si es tenen en compte les distàncies o els temps recorreguts dins o fora del carril.

Estudiant els diferents procediments per a obtenir els valors de les mesures, s'ha vist que quan el càlcul d'un mesura de la conducció és complex és convenient buscar diferents aproximacions per tal de simplificar-lo. És el cas de mesures com ara el TLC (*Time to Line Crossing*), el càlcul del qual requereix la resolució d'unes fórmules trigonomètriques complexes; o l'HFC (*High Frequency Component of the Steering Wheel Angle*).

Un procediment interessant que s'ha comentat en la tesi és el que fa referència al càlcul de la desviació típica de qualsevol mesura mitjançant una fórmula que en comptes de fer servir els valors individuals utilitza el sumatori dels valors i el sumatori dels valors al quadrat. L'avantatge d'aquesta fórmula és que no és necessària ni la revisió, ni l'emmagatzematge dels valors individuals.

En resum, és molt desitjable que els experimentadors facen un esforç per tal d'unificar els noms i els significats de les mesures. Així, si en la literatura ja existeix una mesura amb un nom i un significat determinat

que ja s'han fet servir en nombrosos experiments, no és convenient que en un nou experiment o article científic se li done un altre nom o que es varie el seu significat. D'aquesta manera es possibilita que les comparacions entre les mesures preses en diferents experiments siga més fàcil i coherent, fet que enriqueix considerablement l'experimentació.

8.3 Treball futur

Com es va comentar al principi d'aquest capítol, una bona estratègia per tal d'homogeneïtzar els simuladors és especificar un conjunt de situacions de conducció que permeten fer comparacions entre els resultats que proporcionen. Relacionat amb açò, un primer aspecte a tindre en compte com a treball futur és l'estudi del conjunt de mesures que s'han de prendre en diverses situacions de conducció considerades interessants per diferents motius; com ara alta freqüència de repetició, riscos que impliquen, utilitat per a l'aprenentatge o per a la pròpia homogeneïtzació dels simuladors que s'acaba de comentar. Addicionalment s'ha d'estudiar a fons si aquestes mesures reflecteixen el comportament dels subjectes en eixes situacions i de quina manera.

Un altra tasca desitjable és l'estudi de les correlacions entre les diferents mesures de la conducció. Si es detecta que existeix una forta correlació entre dues o més mesures, només caldrà analitzar una d'elles. Açò permetria un gran estalvi de temps i treball en el procés d'avaluació dels experiments.

Durant la simulació s'han d'enregistrar diverses vegades per segon els diferents paràmetres que s'utilitzaran posteriorment per a calcular les mesures de la conducció. Per exemple, amb les velocitats instantànies enregistrades (paràmetres) es calculen la mitjana i la desviació típica de la velocitat (mesures). L'emmagatzematge d'aquests valors no representa hui dia un aspecte crític, donat que els dispositius d'emmagatzematge actual són relativament econòmics i a més permeten albergar grans quantitats

d'informació. Si per exemple s'ha d'enregistrar una hora de simulació amb 20 paràmetres 25 vegades per segon, l'arxiu binari resultant tindrà únicament 9200K, és a dir, aproximadament 9 megabytes.

Això vol dir que encara que es pregunen una gran quantitat de paràmetres durant molt de temps i amb una freqüència elevada, la grandària del fitxer de dades serà relativament menuda. Per tant, és factible enregistrar en temps real tots els valors que siguem necessaris per a calcular una mesura de conducció encara que aquesta estiguera fortament correlacionada amb una altra. No només això, és convenient prendre tots els paràmetres que permeti el simulador per a que posteriorment es pugui calcular i analitzar qualsevol mesura que es desitgi.

D'altra banda, també seria molt útil fer un estudi per a dissenyar estratègies de representació visual de les dades de les mesures de la conducció que facilite el procés d'anàlisi (gràfics, histogrames, etc.). En aquest sentit Young, Valero i Friendly exposen en [YVF06] la utilitat dels gràfics dinàmics interactius per a analitzar les dades estadístiques. Així doncs, seria una bona opció per a l'anàlisi visual de les mesures de la conducció tindre en compte aquest tipus de gràfics interactius.

Finalment, un altre possible treball a realitzar seria l'estudi d'estratègies d'anàlisi de la informació obtinguda dels aparells de moviments oculars (*eyetrackers*), sobretot pel que fa a la definició d'àrees d'interés i la seua gestió. Una àrea d'interés representa una part de la imatge que pot ser visualitzada pel subjecte i que es considera que és interessant ressaltar per la seua rellevància i interès en l'anàlisi de l'experiment. Quan s'avalua amb un *eyetracker* el comportament visual davant situacions que no són molt dinàmiques gràficament (lectura o edició de documents, visualització de pàgines web, etc.) la definició i gestió de les àrees d'interés és relativament senzilla. Nogensmenys, en el cas dels experiments de conducció la informació visual que rep el subjecte és molt dinàmica i per tant la gestió de les àrees d'interés és bastant més complicada.

Bibliografía

- [AAA⁺06] L. Angell, J. Aufflick, P. A. Austria, D. Kochhar, L. Tijerina, W. Biever, T. Diptiman, J. Hogsett, and S. Kiger. Driver workload metrics project. Task 2 Final Report. Technical Report DOT HS 810 635, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 2006.
- [AGA80] AGARD. Fidelity of simulation for pilot training. Technical Report Advisory Report 159, Advisory Group for Aerospace Research and Development, 1980.
- [BAF73] G. V. Barrett, R. A. Alexander, and J. B. Forbes. Analysis of performance measurement and training requirements for driving decision making in emergency situations. Technical report, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 1973.
- [Bay95] S. Bayarri. Técnicas de visualización y simulación en tiempo real de entornos de conducción: Nuevos algoritmos, estructuras de datos y su gestión, 1995. Tesis doctoral. Universitat de València, Valencia.
- [BdCTC05] M. L. Ballestar, E. López de Cózar, M. T. Tormo, and M. Chisvert. Análisis de los datos de accidentes de tráfico producidos bajo la influencia de la distracción.

- Proyecto DICE: las distracciones en la conducción. Un estudio documental y empírico sobre su incidencia en la accidentalidad en España (Dirs.: Alonso, F.; Sanmartín, J.; Aragay, J.M.). Technical report, INTRAS Línea Editorial, 2005.
- [BIM07] G. E. Burnett, A. Irune, and A. Mowforth. Driving simulator and validity: How important is it to use real car cabins? *Advances in Transportation Studies*, (special issue):33–42, 2007.
- [Bla82] G. J. Blaauw. Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: a validation study. *Human Factors*, 24(4):473–486, 1982.
- [Boe05] E. R. Boer. Steering entropy revisited. In *PROCEEDINGS of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 2005.
- [BPCF98] S. Bayarri, I. Pareja, I. Coma, and M. Fernández. Modelado de carreteras para simulación de conducción. In *8º Encontro Português de Computação Gráfica (EPCG' 98)*, 1998.
- [BPPJ06] E. Bekiaris, V. Portouli, V. Papakostopoulos, and W. Janssen. Deliverable D 2.3.3 - Combining workload and behavioural effects into overall risk reduction estimate. Technical report, Adaptive integrated driver-vehicle Interface (AIDE). Project IST- 1-507674-IP, 2006.
- [Bro96] J. Brooke. *SUS: a quick and dirty usability scale*. Usability Evaluation in Industry. Taylor and Francis., London, 1996.
- [BUN01] K. Brookhuis, E. Uneken, and L. Nilsson. Internal Deliverable RUG ID5.1.1 - ADVISORS common measures. Technical report, Action for advanced Driver assistance and Vehicle

- control systems Implementation, Standardisation, Optimum use of the Road network and Safety (ADVISORS). Project GRD 1-2000-10047, 2001.
- [BW97] W. H. Brouwer and F. K. Withaar. Fitness to drive after traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 7(3):177–193, 1997.
- [Cas14] S. Casas. Mejoras en la Generación de Claves Gravito-inerciales en Simuladores de Vehículos no Aéreos, 2014. Tesis doctoral. Universitat de València, Valencia.
- [CGB02] R. Curry, J. Greenberg, and M. Blanco. An alternate method to measure driver distraction. In *Intelligent Transportation Society of America's Twelfth Annual Meeting and Exposition*, 2002.
- [CNT04] C. Cherri, E. Nodari, and A. Toffetti. Deliverable 2.1.1 - Review of existing tools and methods. Technical report, Adaptive integrated driver-vehicle Interface (AIDE). Project IST-1-507674-IP, 2004.
- [Com07] I. Coma. Análisis y diseño de una arquitectura software para la especificación y ejecución de escenarios experimentales en simulación de conducción, 2007. Tesis doctoral. Universitat de València, València.
- [CSPR00] I. Coma, M. Sánchez, I. Pareja, and S. Rueda. Simulación de vehículos para la evaluación de conductores. In *Calidad e innovación en los transportes*, volume 2, 2000.
- [dCMB+05] E. López de Cózar, J. G. Molina, M. L. Ballestar, J. Sanmartín, C. Calatayud, B. Alamar, and C. Esteban. Las distracciones en la conducción: estudio poblacional (Informe Final). Proyecto DICE: las distracciones en la conducción. Un estudio documental y empírico sobre su incidencia en la

BIBLIOGRAFIA

- accidentalidad en España (Dirs.: Alonso, F.; Sanmartín, J.; Aragay, J.M.). Technical report, INTRAS Linea Editorial, 2005.
- [dCMCS06] E. López de Cózar, J. G. Molina, M. Chisvert, and J. Sanmartín. Traducción y adaptación del Driver Behaviour Questionnaire a la población española. In *IV Congreso de Metodología de Encuestas*, 2006.
- [DGSK96] L. E. Decina, K. W. Gish, L. Staplin, and A. H. Kirchner. Feasibility of New Simulation Technology to Train Novice Drivers. Technical Report DOT HS 000 000, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration., 1996.
- [dIS08] Organización Mundial de la Salud. Estadísticas Sanitarias Mundiales. Technical report, 2008.
- [dIS09] Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción. Technical report, 2009.
- [dT01] Dirección General de Tráfico. *Tráfico*, 150:38, 2001.
- [EJs05] J. Engström, E. Johansson, and J. Östlund. Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2):97–120, 2005.
- [End95] M. R. Endsley. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1):32–64, 1995.
- [Eur12] Comisión Europea. Seguridad vial: la reducción de la mortalidad por accidentes de tráfico en la UE cayó al 2 % en 2011 [Comunicado de Prensa IP/12/326 29/03/2012]. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-326_es.htm, 2012.

- [Eva94] D. Evans. Ground vehicle database modelling. In *Driving Simulation Conference' 94*, 1994.
- [Fer98] M. Fernández. Arquitectura y desarrollo software de sistemas para la modelización del tráfico en simulación de conducción, 1998. Tesis doctoral. Universitat de València, Valencia.
- [FI06] N. Fowler and V. Inman. Sharpened Rhomberg vs Sway Magnetometry in assessing postural instability before and after driving simulation participation. *Undergraduate Research Journal for the Human Sciences*, 5, 2006.
- [fS97] International Organization for Standardization. Transport Information and Control Systems - Reference Model Architecture(s) for the TICS sector - Part 1: Fundamental TICS services. ISO/TC204/WG1/N310R. Technical report, 1997.
- [fS03] International Organization for Standardization. ISO 17287:2003. Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems – Procedure for assessing suitability for use while driving. Technical report, 2003.
- [FUV⁺13] V. Felipo, A. Uriós, P. Valero, M. Sánchez, M. A. Serra, I. Pareja, F. Rodríguez, C. Giménez-Garzó, J. Sanmartín, and C. Montoliu. Serum nitrotyrosine and psychometric tests as indicators of impaired fitness to drive in cirrhotic patients with minimal hepatic encephalopathy. *Liver international*, 33(10):1478–1489, 2013.
- [GGJ92] P. Green, Paelke. G., and Boreczky. J. The “Potato Head” method for identifying driver preferences for vehicle controls. *International Journal of Vehicle Design*, 13(4):352–354, 1992.
- [Har92] L. Harms. Experimental studies of dual-task performance in a driving simulator: the relationship between task demands and

- subjects' general performance. *IATSS Research*, (16):35–41, 1992.
- [HS88] S. G. Hart and L. E. Staveland. *Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research*, pages 239–250. Human Mental Workload. 1988.
- [HW72] S. Hulbert and C. Wojcik. *Driving task simulation*. Human Factors in Highway Traffic Safety Research. Michigan State University, Michigan, USA., 1972.
- [Jan94] W. Janssen. Seat-belt wearing and driving behavior: an instrumented-vehicle study. *Accident Analysis and Prevention*, 26:249–261, 1994.
- [Jan07] W. Janssen. Deliverable 6 of Task Force 2 - Final proposal of common methodologies for analysing driver behaviour. Technical Report 2TNO-070129-E1-DA(1), Human centred design for Information Society Technologies (HUMANIST), 2007.
- [JCJ+05] E. Johansson, O. Carsten, W. Janssen, S. Jamson, H. Jamson, N. Merat, J. Östlund, R. Brouwer, S. Mouta, J. Harbluk, V. Anttila, H. Sandberg, J. Luoma, and T. Victor. Deliverable 3 - Validation of the HASTE protocol specification. Technical report, Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe (HASTE). Project GRD1/2000/25361 S12.319626, 2005.
- [JEC+04] E. Johansson, J. Engström, C. Cherri, E. Nodari, A. Toffetti, R. Schindhelm, and C. Gelau. Deliverable 2.2.1 - Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment. Technical report, Adaptive integrated driver-vehicle Interface (AIDE). Project IST- 1-507674-IP, 2004.

- [KE63] J. W. H. Kalsbeek and J. H. Ettema. Scored regularity of the heart rate pattern and the measurement of perceptual or mental load. *Ergonomics*, 6:306, 1963.
- [Ken95] R. S. Kennedy. Simulator sickness: relationship of different symptoms to equipment configuration and safety. In *Driving Simulation Conference' 95*, 1995.
- [KKBM07] G. Knappe, A. Keinath, K. Bengler, and C. Meinecke. Driving simulator as an evaluation tool - Assessment of the influence of field of view and secondary tasks on lane keeping and steering performance. In *20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, 2007.
- [KLBL93] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum, and M. L. Lilienthal. Simulator Sickness Questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3):203–220, 1993.
- [KTvdH96] N. A. Kaptein, J. Theeuwes, and R. van der Horst. Driving simulator validity: some considerations. *Transportation Research Record*, 1550:30–36, 1996.
- [Lau06] A. Laureshyn. Assessment of traffic safety and efficiency with the help of automated video analysis. In *19th ICTCT Workshop*, 2006.
- [LSD99] Y. C. Liu, C. S. Schreiner, and T. A. Dingus. Development of human factors guidelines for Advanced Traveller Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operation (CVO): human factors evaluation of the effectiveness of multimodality displays in ATIS. Technical Report FHWARD-96-150, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 1999.

BIBLIOGRAFIA

- [Mal94] G. Malaterre. Méthode de mesure de la charge de travail en situation de conduite simulée et réelle. Technical Report 191, INRETS, 1994.
- [McG96] D. V. McGehee. Designing driving dimulation scenarios: a human factors perspective. In *Workshop on Scenario and Traffic Generation for Driving Simulations*, 1996.
- [MEC⁺99] L. Montoro, A. Esteban, C. Cornejo, I. Pareja, and I. Coma. Métodos de investigación sobre la activación y la alerta durante la conducción de un vehículo. In *2^a Reunión Científica sobre Atención (RECA-2)*, 1999.
- [Men08] J. M. Menéndez. Sistemas inteligentes de Transporte: un mal nombre para una buena idea. *Bit*, 168:40–43, 2008.
- [MH71] J. R. McLean and E. R. Hoffmann. Analysis of drivers' control movements. *Human Factors*, 13:407–418, 1971.
- [MH75] J. R. McLean and E. R. Hoffmann. Steering reversals as a mesure of driver performance and steering task difficulty. *Human Factors*, 17:248–256, 1975.
- [MH80] W. A. McDonald and E. R. Hoffmann. Review of relationships between steering wheel reversal rate and driving task demand. *Human Factors*, 22(6):733–739, 1980.
- [Mic79] J. A. Michon. Dealing with danger: report of the European Commission MRC Workshop on physiological and psychological factors in performance under hazardous conditions. Technical Report Report VK 79-01, Traffic Research Center, University of Groningen, 1979.
- [Mic85] J. A. Michon. *A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do?*, pages 485–520. Human behavior and traffic safety. Plenum Press, New York, 1985.

- [MRB04] M. A. Mollenhauer, R. A. Romano, and B. Brumm. The evaluation of a motion base driving simulator in a CAVE at TACOM. In *24th Army Science Conference*, 2004.
- [MS09] S. P. McEvoy and M. R. Stevenson. *Measuring Exposure to Driver Distraction*, pages 73–83. Driver Distraction: Theory, Effects, and Mitigation. CRC Press, 2009.
- [NFNB99] O. Nakayama, T. Futami, T. Nakamura, and E. R. Boer. Development of a Steering Entropy Method for Evaluating Driver Workload. Technical Report 1999-01-0892, SAE Technical Paper Series, 1999.
- [PBS05] M. Pettitt, G. Burnett, and A. Stevens. Defining driver distraction. In *World Congress on Intelligent Transport System*, 2005.
- [PBSP99] D. Pollock, S. Bayarri, J. Sanmartín, and I. Pareja. Driving performance variables measured in driving simulation. In *Assises Européennes de Psychologie Appliquée aux Transports (AEPSAT)*, 1999.
- [PCBR99] I. Pareja, I. Coma, S. Bayarri, and S. Rueda. Modelado de Calidad para la Visualización Interactiva de Carreteras. In *IX Congreso Español de Informática Gráfica (CEIG 99)*, 1999.
- [PD10] E. Prieto and A. R. Delgado. Fiabilidad y validez. *Papeles del Psicólogo*, 31(1):67–74, 2010.
- [Poe03] E. Poehler. Romans on the right: the art and archaeology of traffic. *Athanos*, 21:7–15, 2003.
- [Qun09] W. Qun. An overview of driving distraction measure methods. In *IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design*, 2009.

BIBLIOGRAFIA

- [Ras83] J. Rasmussen. Skills, rules, and knowledge: signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13(3):257–266, 1983.
- [RBdW⁺02] A. J. Roskam, K. A. Brookhuis, D. de Waard, O. M. J. Carsten, L. Reed, S. Jamson, J. Östlund, A. Bolling, L. Nilsson, V. Anttila, M. Hoedemaeker, W. Janssen, J. Harbluk, E. Johansson, M. Tevell, J. Santos, M. Fowkes, J. Engström, and T. Victor. Deliverable 1 – Development of experimental protocol. Technical report, Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe (HASTE). Project GRD1/2000/25361 S12.319626, 2002.
- [RBW07] C. Roe, T. Brown, and G. Watson. Factors associated with simulator sickness in a high-fidelity simulator. In *Driving Simulation Conference' 2007*, 2007.
- [RF99] M. P. Reed and P. A. Freen. Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. *Ergonomics*, 42(8):1015–1037, 1999.
- [Ris85] R. Risser. Behaviour in traffic conflict situations. *Accident Analysis and Prevention*, 17(2):179–197, 1985.
- [RMR95] A. J. Rehman, R. D. Mitman, and M. C. Reynolds. A handbook of flight simulation fidelity requirements for human factors research. Technical Report DOT/FAA/CTTN95/46, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 1995.
- [RMS⁺90] J. T. Reason, A. S. R. Manstead, S. G. Stradling, J. S. Baxter, and K. Campbell. Errors and violations on the road: a real distinction? *Ergonomics*, 33:1315–1332, 1990.

- [RN88] G. B. Reid and T. E. Nygren. *The Subjective Workload Assessment Technique: a scaling procedure for measuring mental workload*, pages 185–218. 1988.
- [Rob12] C. C. Roberts. Response time. <http://www.croberts.com/respon.htm>, 2012.
- [RPK01] R. De Raedt and I. Ponjaert-Kristoffersen. Short cognitive/neuropsychological test battery for first-tier fitness-to-drive assessment of older adults. *Clinical Neuropsychologist*, 15(3):329–36, 2001.
- [Sal00] D. Saluäär. Driving simulators as a mean of studying the interaction between driver and vehicle. Technical Report Internal Volvo report ER-520034, 2000.
- [Sav] M. R. Savino. Standardized names and definitions for driving performance measures.
- [sNC⁺04] J. Östlund, L. Nilsson, O. Carsten, N. Merat, H. Jamson, S. Jamson, S. Mouta, J. Carvalhais, J. Santos, V. Anttila, H. Sandberg, J. Luoma, D. de Waard, K. Brookhuis, E. Johansson, J. Engström, T. Victor, J. Harbluk, W. Janssen, and R. Brouwer. Deliverable 2 - HMI and safety-related driver performance. Technical report, Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe (HASTE). Project GRD1/2000/25361 S12.319626, 2004.
- [SRSR01] J. C. Stutts, D. W. Reinfurt, L. Staplin, and E. A. Rodgman. The role of driver distraction in traffic crashes. Technical report, AAA Foundation for Traffic Safety, 2001.
- [Str05] S. H. Straus. Driving simulation implications for use in transportation license testing applications. In *DCS 2005 North America*, 2005.

BIBLIOGRAFIA

- [SVC⁺99] M. Sánchez, P. Valero, I. Coma, I. Pareja, S. Rueda, and J. Sanmartín. Construcción de escenarios de conducción para el sistema informática de evaluación interactiva de conductores por medio de simulación (EVICA): la realidad no es siempre un buen modelo para la construcción de simuladores. In *International Congress of use of Simulators*, 1999.
- [SVP00] M. Sánchez, P. Valero, and I. Pareja. Interfaz de usuario en el desarrollo de un simulador de conducción. In *Interacción 2000. I Jornadas de Interacción Persona-Ordenador*, 2000.
- [Tas05] L. Tasca. Driver distraction: towards a working definition. In *International Conference on Distracted Driving*, 2005.
- [TC02] P. Tejero and M. Chóliz. Driving on the motorway: the effect of alternating speed on driver's activation level and mental effort. *Ergonomics*, 45(9):605–618, 2002.
- [TGS⁺99] L. Tijerina, M. Gleckler, D. Stoltzfus, S. Johnston, M. J. Goodman, and W. W. Wierwille. A Preliminary Assessment of Algorithms for Drowsy and Inattentive Driver Detection on the Road. Technical Report DOT Report: HS 808, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 1999.
- [VBT⁺12] P. M. Valero, M. L. Ballestar, A. Tontsch, I. Pareja, and M. Sánchez. Effects of manually entering navigator destinations while driving in a simulator. *IET Intelligent Transport Systems*, 6(4):397–403, 2012.
- [vdLHW97] J. D. van der Laan, A. Heino, and D. De Waard. A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, 5:1–10, 1997.

- [Ver91] W. B. Verwey. Towards Guidelines for in-car Information Management: Driver Workload in Specific Situations. Technical Report Technical Report IZF 1991 C-13, TNO Human Factors Research Institute, 1991.
- [Vic05] T. Victor. Keeping eye and mind on the road, 2005.
- [Vog03] K. Vogel. A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident Analysis and Prevention*, 35(3):427–433, 2003.
- [VSCP01] P. Valero, M. Sánchez, I. Coma, and I. Pareja. El Simulador de Conducción EVICA para la Evaluación de Discapacitados. In *Cursos de Verano de Laredo 2001. Discapacidad y Conducción de Vehículos*, 2001.
- [VSS⁺04] P. Valero, M. Sánchez, J. Sanmartín, I. Pareja, and I. Coma. ¿Conducen bien los buenos conductores en un simulador de conducción? In *Interacción 2004. V Congreso Interacción Persona-Ordenador*, 2004.
- [VTM87] K. J. Vicente, D. C. Thornton, and N. Moray. Spectral analysis of sinus arrhythmia: a measure of mental effort. *Human Factors*, 29(2):171–82, 1987.
- [VTPS10] P. Valero, A. Tontsch, I. Pareja, and M. Sánchez. Using a highly instrumented car for naturalistic driving research. A small-scale study in Spain. Deliverable D3.5. Technical report, Promoting real life Observations for Gaining Understanding of road behaviour in Europe (PROLOGUE). FP7-SST-2008-RTD-1. SCP8-GA-2009-233597, 2010.
- [vWBdW00] W. van Winsum, K. A. Brookhuis, and D. de Waard. A comparison of different ways to approximate time-to-line crossing (TLC) during car driving. *Accident Analysis and Prevention*, 32:47–56, 2000.

BIBLIOGRAFIA

- [Wac95] J. A. Wachtel. Brief history of driving simulators. *TR News*, (179), 1995.
- [WTK⁺96] W. Wierwille, L. Tijerina, S. Kiger, T. Rockwell, E. Lauber, and A. Bittner Jr. Heavy Vehicle Driver Workload Assessment. Task 4: review of workload and related research. Technical Report DOT HS 808 467 (4), U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 1996.
- [YRL09] K. L. Young, M. A. Regan, and J. D. Lee. *Measuring the Effects of Driver Distraction: Direct Driving Performance Methods and Measures*, pages 85–105. *Driver Distraction: Theory, Effects, and Mitigation*. CRC Press, 2009.
- [YVF06] F. W. Young, P. M. Valero, and M. Friendly. *Visual Statistics: Seeing Data with Dynamic Interactive Graphics*. Wiley Series in Probability and Statistics, 2006.