

FISIOLOGIA DEL BUSSEIG

Com afecta la pressió al nostre cos en bussejar



Mario Bofill Mancha
Tutora: Empar Dalmau
Departament de Ciències Experimentals
Institut Rovira-Forns
Curs 2022-2023
16/12/2022

“Des del seu naixement, l'home porta el pes
de la gravetat sobre les seves espatlles.
Està cargolat a la terra. Però només ha de
submergir-se sota l'aigua per a ser lliure”.

Jacques-Yves Cousteau

AGRAÏMENTS

M'agradaria agrair la col·laboració de totes les persones que han fet possible la realització d'aquest treball.

En primer lloc, agrair a la meva tutora, Empar Dalmau, qui ha estat donant-me el suport necessari durant tot el treball i qui ha estat sempre allà per respondre les meves qüestions.

En segon lloc, agrair a l'equip de professionals que ha estat garantint la meva seguretat durant les immersions. En especial, vull donar les gràcies a Anna i Alberto, pel seu ajut en fer les proves i a Sergi i Rachel, per donar-me un cop de mà i poder fer l'entrevista. També, voldria agrair al centre de busseig H₂O de Palamós (Costa Brava) i al seu personal per facilitar-me els materials i les eines necessàries.

En últim lloc, donar les gràcies a la meva família i amics, qui han estat sempre allà i han confiat en mi. Sense aquestes persones, aquest treball no hauria estat possible.

RESUM

L'objectiu d'aquest treball de recerca és estudiar com es veu afectat el nostre cos en bussejar i veure les possibles malalties i accidents que poden ocórrer, les seves causes, símptomes, prevencions i tractament.

Per tal d'arribar al nostre objectiu, primer hem estudiat el medi aquàtic i quines diferències presenta amb el medi terrestre. Seguidament, hem estudiat les lleis que regeixen el medi aquàtic i que ens afecten en bussejar. D'aquesta forma, hem estat capaços de comprendre per què ens afecten les malalties i els accidents de busseig de la forma en què ho fan.

Finalment, hem experimentat, de manera controlada, aquestes malalties i accidents sobre el nostre propi cos per veure si els efectes que hem estudiat ens afecten de tal manera. Juntament amb això i per concloure la part pràctica, hem fet una entrevista a un company de busseig el qual va patir una d'aquestes malalties.

Paraules clau: Medi aquàtic, busseig, pressió, malaltia, accident.

ABSTRACT

The objective of this research project is to study how our bodies are affected when we do scuba diving and understand the possible illnesses and accidents that may occur, their causes, symptoms, prevention, and treatment.

In order to achieve our goal, we first study the aquatic environment and which differences have with the terrestrial environment. Next, we study the laws that rule the aquatic environment and affect us when we are diving. In this way, we are capable to comprehend why diving illnesses and accidents affect us in that way.

Finally, we experiment, in a controlled way, these illnesses and accidents in our body so as to see if the effects that we have studied affect us that way. Simultaneously and to conclude our practice part, we do an interview with a scuba diver mate who suffered one of these illnesses.

Key words: Aquatic environment, scuba diving, pressure, illness, accident.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	9
1.1. Motivació del treball.....	9
1.2. Objectius.....	9
1.3. Hipòtesis.....	10
2. METODOLOGIA	11
3. MARC TEÒRIC	11
3.1. Què és el busseig?.....	11
3.2. Entorn aquàtic.....	12
3.3. Conceptes bàsics.....	12
3.3.1. Massa.....	12
3.3.2. Volum.....	12
3.3.3. Densitat.....	12
3.3.4. Pes.....	13
3.3.5. Pressió.....	13
3.3.6. Temperatura.....	13
3.4. Diferències entre l'aire i l'aigua.....	14
3.5. Pressió absoluta i pressió manomètrica (pressió hidroestàtica).....	14
3.6. Aspecte fisicoquímic del busseig i fisiologia humana.....	15
3.6.1. Lleis dels gasos relacionats amb el busseig.....	15
3.6.1.1. Llei de Boyle.....	16
3.6.1.2. La llei de Charles (la llei de Gay-Lussac).....	17
3.6.1.3. La llei de Dalton i el Nitrox.....	18

3.6.1.4. La llei de Henry.....	20
3.6.2. Fisiologia humana.....	20
3.6.2.1. El sistema cardiovascular.....	21
3.6.2.2. El sistema respiratori.....	22
3.6.2.3. Efectes de la immersió en els sistemes cardiovascular i respiratori.....	23
3.6.2.4. Efectes de respirar en un medi més dens.....	24
3.7. Accidents i malalties del busseig.....	25
3.7.1. Narcosi del nitrogen.....	26
3.7.1.1 Narcosi del nitrogen: signes i símptomes.....	26
3.7.1.2 Narcosi del nitrogen: prevenció i tractament.....	28
3.7.2 Barotraumatismes.....	28
3.7.2.1. Barotraumatismes de l'oïda.....	28
3.7.2.2. Barotraumatismes dels sins paranasals.....	30
3.7.3 La toxicitat de l'oxigen.....	31
3.7.3.1 Síntomes de la toxicitat de l'oxigen.....	31
3.7.3.2. Prevenció i tractament de la toxicitat de l'oxigen.....	32
3.7.4. La malaltia de descompressió.....	32
3.7.4.1. Síntomes de la malaltia de descompressió.....	34
3.7.4.2. Prevenció i tractament de la malaltia de descompressió.....	34
3.7.5. Sobreexpansió pulmonar.....	35
3.7.5.1. Síntomes de la sobreexpansió pulmonar.....	35
3.7.5.2. Prevenció i tractament de la sobreexpansió pulmonar.....	36

4. MARC PRÀCTIC	37
4.1. INTRODUCCIÓ.....	37
4.2. EXPERIMENT I: Sobreexpansió pulmonar.....	38
PART 1.....	38
A. Materials usats per a la realització de l'experiment.....	38
B. Procediment experimental.....	39
C. Resultats.....	40
PART 2.....	42
4.3. EXPERIMENT II: Narcosi del nitrogen.....	43
A. Materials usats per a la realització de l'experiment.....	43
B. Procediment experimental.....	43
C. Resultats.....	45
5. CONCLUSIONS	45
6. BIBLIOGRAFIA	48
7. ANNEXOS	51
7.1. Annex I: Transcripció de l'entrevista.....	51
7.2. Annex II: Imatges de material emprat.....	52

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Motivació del treball

Des de ben petit he tingut curiositat pel mar i tot el que aquest engloba. Quan vaig assolir l'edat necessària, vaig anar a bussejar sense pensar-ho dues vegades i vaig gaudir molt de l'experiència. Des de llavors, el busseig ha format part de la meua vida.

Després de passar més de quatre anys bussejant, volia aprendre una mica més de la fisiologia humana i si aquesta es veu afectada en bussejar. Mogut per la curiositat, vaig descobrir que, fins i tot en bussejadors experimentats, hi ha molt desconeixement en aquest àmbit, tot i ser molt important per a la nostra salut. És per això que volia que aquest fos el tema del meu treball de recerca.

Tot i que aquesta és una afició que no practica la majoria de la gent, hi ha molt desconeixement del nostre cos i de l'entorn aquàtic. A més, a causa d'aquest desconeixement, es provoquen més accidents a l'any dels que ens pensem.

1.2. Objectius

L'objectiu general d'aquest treball de recerca és aconseguir entendre de quina manera afecta la pressió al nostre cos en fer submarinisme i com reacciona el nostre cos davant d'aquesta. També estudiarem les conseqüències d'exposar-se a aquesta pressió descontroladament.

Els objectius específics d'aquest treball són els següents:

- **Objectiu 1:** Estudiar el medi aquàtic i les seves característiques, estudiar quines diferències presenta davant el nostre hàbitat terrestre i aprendre els conceptes bàsics necessaris per conèixer aquest medi.
- **Objectiu 2:** Aprendre les parts del cos humà involucrades en el busseig i estudiar les lleis fisicoquímiques (la llei de Boyle, la llei de Charles, la llei de Henry i la llei de Dalton) relacionades amb el busseig.

- **Objectiu 3:** Estudiar causes, prevenció, símptomes i tractament de les malalties i accidents lligats al submarinisme i posar en pràctica algunes d'aquestes malalties i accidents, tot relacionant-les amb les lleis fisicoquímiques estudiades.

Així, la consecució d'aquests objectius específics ens portarà a arribar a l'objectiu general, el qual s'ha plantejat anteriorment.

1.3. Hipòtesis

En aquest treball de recerca, s'han plantejat tres hipòtesis, que fan referència a cadascun dels objectius específics del treball.

- **Hipòtesi 1, relacionada amb l'objectiu 1:** Crec que en canviar d'un medi (terrestre) a un altre més dens (aquàtic), les característiques fisicoquímiques d'aquest canvien. Considero que en ser l'aigua més densa que l'aire, la pressió a grans profunditats serà considerablement més gran a la que estem exposats a superfície. Llavors, la meva hipòtesi és: **Potser a l'aigua, la pressió varia més ràpidament que en l'aire.**
- **Hipòtesi 2, relacionada amb l'objectiu 2:** Des del meu punt de vista, la part del cos humà més involucrada en el busseig i més susceptible al canvi de medi és el sistema respiratori, el qual crec que desenvolupa una tasca activa en tot el procés. És lògic pensar que els pulmons variaran de dimensió a causa de la pressió. Així, la hipòtesi que plantejo és: **Potser els pulmons variaran de dimensió en augmentar la pressió.**
- **Hipòtesi 3, relacionada amb l'objectiu 3:** Crec que en portar l'estudi de les malalties i accidents del busseig a la part pràctica experimentarem canvis físics en el nostre cos. Considero que, algunes parts del nostre cos (com els pulmons), patiran canvis respecte al seu estat habitual. Tot i així, no crec que sofrim canvis a nivell cognitiu-conceptual o psicomotriu. Per tant, la meva hipòtesi és: **Potser, en experimentar les malalties i accidents del busseig en el nostre propi cos, patirem canvis físics, però no cognitiu-conceptuals o psicomotrius.**

2. METODOLOGIA

Per tal d'assolir el primer objectiu i confirmar o desmentir la hipòtesi 1, hem fet una recerca d'informació sobre els conceptes generals relacionats amb el busseig, amb l'objectiu de disposar de les eines necessàries per poder entendre el medi aquàtic i posteriorment les lleis fisicoquímiques d'aquest.

Seguidament, hem estudiat les lleis que actuen sobre nosaltres. També, hem après les parts del cos involucrades en el busseig, d'aquesta manera sabem com actua i com reacciona el nostre cos sota l'aigua, i ens ajudarà en el futur a comprendre millor com ens afecten les malalties del busseig al nostre cos. A més, hem comprovat si la meua hipòtesi 2 era correcta o no.

Per aconseguir el tercer objectiu i comprovar la hipòtesi 3, hem fet una recerca d'informació sobre les malalties i accidents més importants del busseig, les seves causes, símptomes, prevenció i tractaments. Així, coneixerem els diferents perills als quals ens exposem en bussejar. D'aquestes malalties i accidents, hem seleccionat les més importants.

Un cop seleccionades, hem dut a terme una part pràctica on les hem experimentat en el nostre propi cos, per comprovar si l'experiència és tal com la descriuen les fonts d'informació i si els símptomes són els mateixos. Per dur això a terme, ens han acompanyat un equip de professionals i hem fet els experiments en un espai controlat i en condicions on hem pogut experimentar els símptomes sense posar en risc la nostra salut. A més, hem fet una entrevista a un company que va patir un accident de busseig i ens ha explicat la seva experiència.

3. MARC TEÒRIC

3.1. Què és el busseig?

Segons el Butlletí Oficial de l'Estat (BOE) número 177 (2020), el busseig és una activitat subaquàtica que pot realitzar-se amb finalitats recreatives, esportives, professionals, militars o científiques. Consisteix a ingressar a l'aigua i submergir la totalitat del cos, per la qual cosa, en general, es desenvolupa amb l'ajut d'alguna mena d'equipament que permet al bus no haver de sortir a la superfície a respirar.

3.2. Entorn aquàtic

El medi aquàtic es divideix en dues parts, l'aigua i els éssers vius que habiten en aquesta. L'estudi de l'aigua i les seves condicions es coneix com a “oceanografia del busseig”. És una disciplina important perquè entendre el moviment de l'aigua és de gran ajuda per a planificar immersions, guiar bussejadors i col·laborar amb l'instructor. Els éssers vius que habiten en l'aigua es diuen “vida aquàtica”, tant en els oceans com en aigua dolça, en aquest treball, no ens centrarem en aquesta part. (Science of Diving, Scuba Schools International n. d.)

3.3. Conceptes bàsics

Per tal d'entendre com funciona el medi aquàtic, les lleis fisicoquímiques per les quals es regeix i com ens afecten a nosaltres quan fem immersions, necessitarem entendre una sèrie de conceptes bàsics que es descriuen a continuació.

3.3.1. Massa

La massa és una magnitud física¹ que expressa la quantitat de matèria. En el sistema internacional, la massa es mesura en quilograms i el seu símbol és una M o m. (DIEC2, n. d.)

3.3.2. Volum

El volum és la quantitat d'espai que una substància tridimensional (sòlid, líquid, gas o plasma) ocupa. En el sistema internacional (SI), el volum se sol quantificar numèricament utilitzant el metre cúbic (m^3). (Diccionari by Merriam Webster, n. d.)

¹ Magnitud física: és una quantitat mesurable d'un sistema físic a la qual se li poden assignar diferents valors com a resultat d'un mesurament o una relació de mesures.

3.3.3. Densitat

La densitat (símbol d) és una magnitud escalar que indica la massa per unitat de volum d'una substància. La densitat és directament proporcional al valor de la massa i inversament proporcional al volum del cos. Les unitats del sistema internacional (SI) són $\text{kg}\cdot\text{m}^3$ i, matemàticament, s'expressa com la massa dividida pel volum: (Naturalsom, 2022)

$$d = \frac{m}{V}$$

3.3.4. Pes

El pes és una mesura de la força amb la qual la Terra atrau qualsevol objecte a causa de la gravetat² ($g = 9,8 \text{ m/s}$). Aquest, depèn de la força de la gravetat i la massa del cos. Les seves unitats en el sistema internacional (SI) són els Newtons, i el seu símbol és una P . (mheducation, n. d.)

$$P = m \cdot g$$

3.3.5. Pressió

La pressió (P) és la magnitud que mesura la força instantània (F) en una unitat de superfície (S). La seva unitat en el sistema internacional (SI) és el pascal (Pa), que equival a una força d'un Newton que actua uniformement sobre un metre quadrat. Així i tot, en el busseig la unitat que s'utilitza per mesurar la pressió és el bar, $1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa}$. (La física de buceo, 2022)

$$P = \frac{F}{S}$$

3.3.6. Temperatura

La temperatura és una magnitud física que expressa quantitativament les nocions comunes de calor i fred. Els objectes de baixa temperatura són freds, mentre que els nivells de temperatures més altes es coneixen amb els noms de tebi o calent. El seu símbol és la T i en el sistema internacional es mesura en graus Kelvin (K). (DB Pedia, n. d.)

² Gravetat: és la força d'atracció mútua que experimenten dos objectes amb massa.

3.4. Diferències entre l'aire i l'aigua

L'aire (en condicions normals³) té una densitat d'aproximadament d'1,29 grams per litre. Una atmosfera — que representa el pes d'una columna d'aire d'un centímetre quadrat que s'estén des del nivell de la mar fins a la vora exterior de l'atmosfera de la Terra (al voltant de 400 km) — equival aproximadament a 1,0 bar de pressió. Normalment, no som conscients d'aquesta pressió d'aire, ja que s'aplica de manera uniforme en els nostres cossos. (Open Water Diving, Scuba Schools International, n. d.)

No obstant això, ens adonem dels canvis de pressió quan entrem en el medi aquàtic. Tant l'aigua dolça com l'aigua salada pesen considerablement més que l'aire. L'aigua dolça té una massa d'1,0 kg per litre i l'aigua salada d'1,025 kg per litre. Això significa que un litre d'aigua té una massa aproximadament 800 vegades superior a un litre d'aire. Un augment d'1 bar de pressió sota l'aigua s'aconsegueix en una distància relativament curta: només 10 metres d'aigua de la mar o 10,2 metres d'aigua dolça, mentre que en l'hàbitat terrestre requereix uns 400 km. (Open Water Diving, Scuba Schools International, n. d.)

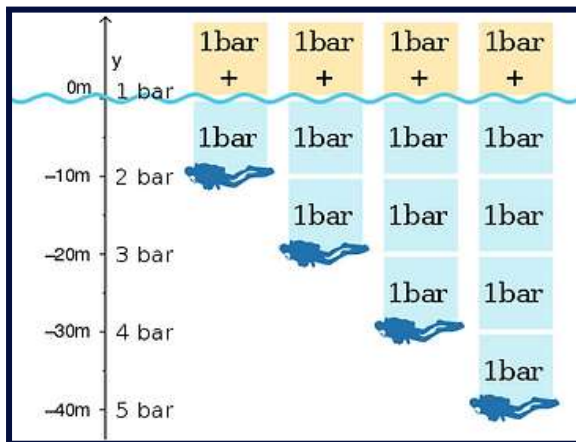
Tal com hem vist, a causa de la densitat de l'aigua salada i de l'aigua dolça, els canvis de pressió varien lleugerament. Per a facilitar la comprensió, ens centrarem únicament en l'aigua salada al llarg del treball. L'augment de pressió per metre de descens en aigua salada és de 0,1 bar (1 bar/10 m).

3.5. Pressió absoluta i pressió manomètrica (pressió hidroestàtica)

La pressió absoluta, també anomenada pressió ambiental, es refereix a la pressió total exercida sobre un objecte. La pressió absoluta inclou 1 bar de pressió exercit per l'aire que està per sobre de la superfície més qualsevol pressió addicional que estigui exercida per l'aigua a una certa profunditat. La pressió absoluta s'expressa en bar i és la pressió que experimenta un bussejador. (WIKA S.A., n. d.)

³ Condicions normals: Conjunt de condicions definides per una pressió de 1 013,25 hPa (1 atmosfera) i una temperatura de 273,15 K (0 °C).

La pressió manomètrica, també anomenada pressió hidroestàtica, es refereix a la lectura de la pressió en els manòmetres⁴. La pressió hidroestàtica es pot determinar restant un bar (corresponent a la pressió absoluta), sent així la pressió que únicament exerceix l'aigua sobre nosaltres. (WIKA S.A., n. d.)



“La pressió absoluta a nivell de la mar se situaria en 1 bar, mentre que la pressió hidroestàtica serà zero.” (Gotera, G. G., 1998)

Figura 1: Pressió absoluta que afecta al bussejador en funció de la fondària. (Gunn, T., 2021). Understanding Pressure in Physics IDC Dive Theory.

3.6. Aspectes fisicoquímics del busseig i fisiologia humana

En aquest apartat, estudiarem tant la part fisicoquímica del busseig, que inclou les diferents lleis i principis que regeixen el món aquàtic i ens afecten en bussejar, com la fisiologia humana, és a dir, quines parts del nostre cos intervenen en el busseig i com poden veure's afectades.

3.6.1. Lleis dels gasos relacionats amb el busseig

Els bussejadors han de tenir en compte diversos tipus de lleis a l'hora de fer una immersió, però, nosaltres ens centrarem en aquelles lleis dels gasos que són més rellevants en l'estudi de les malalties i els accidents derivats del busseig. Aquestes són:

⁴ Manòmetre: un manòmetre és un indicador analògic o digital utilitzat per mesurar la pressió d'un gas o líquid, com l'aigua o l'aire. És crucial a l'hora de bussejar.

- La llei de Boyle
- La llei de Charles (la llei de Gay-Lussac)
- La llei de Dalton
- La llei de Henry

3.6.1.1. Llei de Boyle

La llei de Boyle diu que «Si la temperatura roman constant, la pressió i el volum d'un gas són inversament proporcionals». En altres paraules: si la pressió augmenta, el volum disminueix; si la pressió disminueix, el volum augmenta. (Saeys, 2020)

La relació de pressió i volum s'expressa mitjançant la següent fórmula:

$$P1 \cdot V1 = P2 \cdot V2$$

on,

P1 = Pressió inicial *P2 = Pressió final*

V1 = Volum inicial *V2 = Volum final*

En els càlculs de les lleis dels gasos sempre emprarem les unitats del Sistema Internacional (SI), tenint el litre com a unitat de mesura del volum i les atmosferes com a unitat de pressió. Encara que el litre no és una unitat del SI, és acceptat per la Conferència General dels Pesos i les Mesures (CGPM), l'organisme normalitzador que defineix el SI. Per tant, és correcte utilitzar-lo.

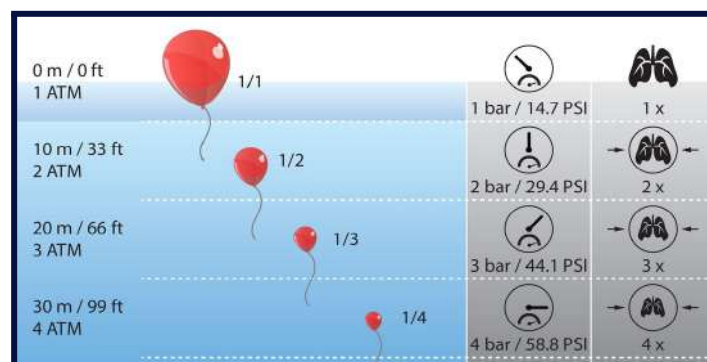


Figura 2: Explicació visual de la llei de Boyle SSI. (2018, 17 maig). Science of Diving.

3.6.1.2. La llei de Charles (la llei de Gay-Lussac)

Entre 1801 i 1802, Joseph Louis Gay-Lussac va concloure que el volum de tots els gasos s'expandia d'igual manera amb el mateix augment de temperatura. Aquesta afirmació es coneix com a dilatació tèrmica. Se sol denominar "La Llei de Charles" en honor a Jacques Charles, que va arribar a la mateixa conclusió quinze anys abans, però no ho va publicar. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998)

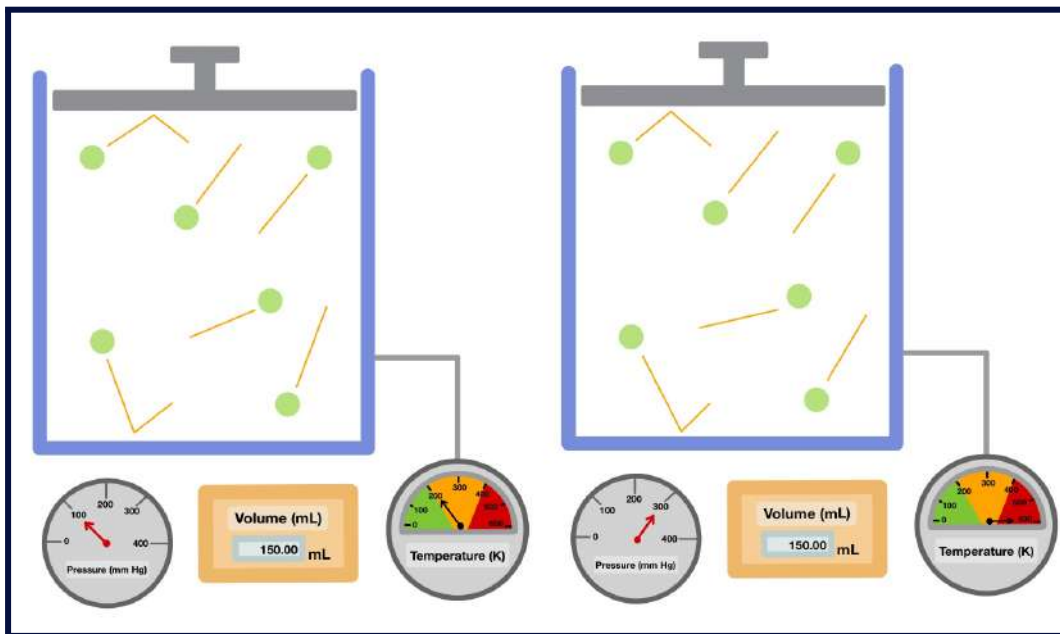


Figura 3: Volum constant a diferents temperatures i pressions (c. 2019). Expii.

La Llei de Charles estableix que:

A pressió constant, el volum d'un gas és directament proporcional a la temperatura. Si el volum del gas roman constant, la pressió és directament proporcional a la temperatura. Les fórmules per aquesta llei es poden separar en dues, pressió constant i volum constant: (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998)

- Fórmula a volum constant:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

- Fórmula a pressió constant:

$$\frac{V1}{T1} = \frac{V2}{T2}$$

on,

P1 = Pressió inicial *P2 = Pressió final*

V1 = Volum inicial *V2 = Volum final*

T1 = Temperatura inicial *T2 = Temperatura final*

(Science L. T., 2020)

3.6.1.3. La llei de Dalton i el Nitrox

Per entendre la llei de Dalton primer hem d'entendre com és l'aire que ens envolta. L'aire que respirem és, de mitja, un 21% oxigen, un 78% nitrogen i un 1% d'altres gasos. Aquesta mescla és la que la majoria dels bussejadors utilitzen a l'hora de fer una immersió. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

Així i tot, hi ha una altra mescla d'oxigen i nitrogen molt emprada arreu del món, anomenada Nitrox I o EAN (Enriched Air Nitrox) 32. Aquesta mescla, és, en essència, d'un 32% d'oxigen i un 68% de nitrogen. Per aconseguir aquesta mescla, es fan servir màquines compressores d'aire amb la capacitat d'omplir ampolles de busseig amb més o menys oxigen, amb la finalitat de gaudir de certs avantatges de respirar aire enriquit d'oxigen. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

La llei de Dalton estableix que:

En una mescla de gasos, la pressió total de la mescla és igual a la suma de les pressions parcials dels gasos que la componen.

Pressió parcial del gas 1 + Pressió parcial del gas 2 = Pressió total

Expressada matemàticament, la llei és:

$$Pp = P \cdot F_{GAS}$$

on,

Pp_{gas} = Pressió parcial d'un gas en específic de la mescla

P = Pressió total de la mescla de gasos

F_{gas} = Fracció decimal d'un gas en la mescla (expressat en decimal)

La pressió total d'una mescla de gasos en una ampolla de submarinisme plena és de, aproximadament, 200 bar, sigui aire o Nitrox. (Dalton's law of partial pressure (article), n. d.)

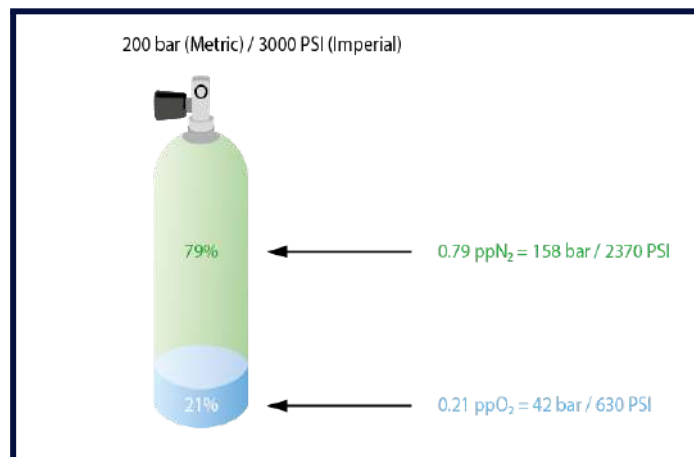


Figura 4: Visualització de les pressions parcials a una ampolla de busseig. (s. d.). Science of Diving.

Així, el percentatge d'oxigen i nitrogen d'una ampolla de submarinisme (sigui d'aire o de Nitrox) no variarà amb el canvi de fondària. Per tant, haurem de tenir en compte que, en qualsevol punt de la immersió, els percentatges d'oxigen i nitrogen romandran iguals. (Dalton's law of partial pressure (article), n. d.)

3.6.1.4. La llei de Henry

La Llei de Henry estableix que:

A una temperatura donada, la quantitat de gas que es dissol en un líquid és directament proporcional a la pressió parcial que el gas exerceix sobre el líquid. Com més gran sigui la pressió parcial, més gas es dissoldrà en el líquid i viceversa. (NIH - National Library of Medicine, 2022)

Alguns gasos i líquids són més solubles i solvent que uns altres. Sabem que el nitrogen és cinc vegades més soluble en els greixos que en l'aigua. Així, els greixos són més ben solvents per al nitrogen. (NIH - National Library of Medicine, 2022)

La saturació total del gas es produeix durant el període de temps en el qual el gas es difon en el líquid. A mesura que el gas s'acosta a la saturació total, la velocitat a la qual es dissol disminueix. Quan es representa la saturació de gas, forma una corba exponencial que varia en funció del gas i del líquid. (NIH - National Library of Medicine, 2022)

Hem de recordar que la Llei de Henry assumeix que la temperatura es manté constant. El coeficient de solubilitat varia amb la temperatura. En general, es dissol més gas en un líquid fred, que en un calent. (Liceo AGB, n. d.)

Comprendre la Llei de Henry és important en considerar la fisiologia del bussejador en un ambient hiperbàric, ja que l'augment de les pressions parcials del gas pot tenir conseqüències fisiològiques en el bussejador i la sobresaturació del gas en solució pot conduir a la malaltia de descompressió. (Liceo AGB, n. d.)

3.6.2. Fisiologia humana

A continuació parlarem de com els gasos, en un ambient hiperbàric⁴, afecten al nostre cos. Segons DAN (Divers Alert Network), cada gas té un efecte fisiològic basat en la pressió parcial i el temps passat sota l'aigua. En sotmetre el nostre cos a ambients d'alta pressió, hem de ser conscients de com els descensos i ascensos afecten no sols al nostre organisme, sinó també a l'equip que usem. És important comprendre com els sistemes respiratori i cardiovascular juguen un paper important sota l'aigua.

3.6.2.1. El sistema cardiovascular

El sistema cardiovascular és un sistema de transport intern que utilitzen alguns éssers vius per a moure dins del seu organisme elements nutritius com l'oxigen, el diòxid de carboni, hormones, metabòlits i altres substàncies. (Bupa, n. d.)

El sistema cardiovascular realitza un gran nombre de funcions, entre elles:

- Transporta l'oxigen a les cèl·lules.
- Lliura els nutrients per al desenvolupament cel·lular i metabòlic.
- Lliura els reguladors químics: hormones, enzims, etc.
- Lluita contra infeccions i malalties.

El sistema cardiovascular consta de tres components principals:

- El cor (bomba la sang).
- La sang (mitjà de transport).
- Vasos sanguinis (canonades).

El cor el componen dues bombes de dues cambres. Les dues cambres superiors, l'aurícula dreta i esquerra, són les etapes de baixa pressió de les bombes. Recullen la sang que flueix cap al cor i la bomben cap als ventricles. Els ventricles esquerre i dret són les etapes d'alta pressió de les bombes i envien la sang des del cor.

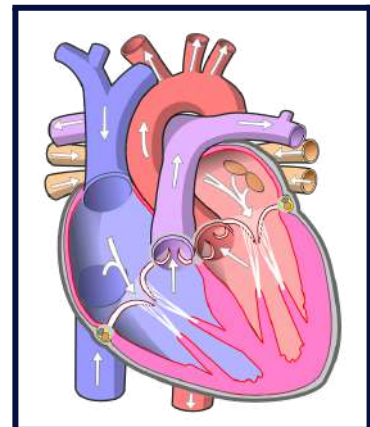


Figura 5: *Imatge del cor.* (n. d.). Wikimedia Commons.

Pels vasos sanguinis la sang viatja per tot el cos. Les artèries continuen ramificant-se a mesura que s'allunyen del cor. La unió de les artèries i les venes es troba en la seva divisió més petita, els capil·lars dels diferents teixits i òrgans, on els nutrients, gasos i residus s'intercanvien. (Bupa, n. d.)

La sang ara flueix cap a les venes, que són més grans cada vegada, fins a arribar a la vena cava superior o inferior, que desemboquen en el cor. Aquestes són vasos envoltats de múscul que poden canviar la pressió de la sang per contracció o dilatació. Per això, poden enviar la sang als òrgans vitals quan és necessari. (Bupa, n. d.)

3.6.2.2. El sistema respiratori

En el sistema respiratori s'intercanvien els gasos entre l'atmosfera (o mescla respirable del bussejador) i l'organisme. És on trobem l'espai d'aire més gran de tot el nostre cos. A causa d'aquests dos factors i a altres menors, el sistema respiratori es veu més afectat fisiològicament en el medi ambient subaquàtic que cap altre sistema o aparell humà. (S. Å. Severinsen, 2010)

El nas i la boca es connecten als pulmons per la tràquea. La tràquea és un tub anellat cartilaginós. Abans d'entrar en els pulmons, la tràquea es divideix en dos bronquis. Un d'ells entra en el pulmó dret i l'altre en el pulmó esquerre. Els bronquis també estan formats per anells cartilaginosos. (S. Å. Severinsen, 2010)

Els pulmons no tenen exactament la mateixa estructura. El pulmó dret és una mica més gran que l'esquerre i té tres lòbuls, el pulmó esquerre només dos. Els pulmons estan dividits en segments pulmonars. (S. Å. Severinsen, 2010)

En els segments pulmonars, els bronquis es divideixen en bronquíols, que no tenen estructura cartilaginosa. Estan reforçats per músculs llisos involuntaris. Els bronquíols es divideixen contínuament, després de la segona divisió ja no tenen suport muscular. La divisió continua fins a formar milions de bronquíols en els pulmons. (S. Å. Severinsen, 2010)

En l'extrem dels bronquíols hi ha, com a raïms de raïm, els anomenats sacs alveolars; i dintre d'ells, els alvèols. Hi ha aproximadament 300 milions d'alvèols. Un alvèol té aproximadament 0,025 centímetres de diàmetre. En la seva prima paret és on el gas es difon per a entrar i sortir de la sang. (Dezube, 2022)



1. Bronquíols.
2. Alvèols.
3. Vista detallada dels alvèols.
4. Alvèols amb sistema capil·lar.

Figura 6: Visualització del sistema respiratori. (n. d.). Science of Diving (respiratory system).

La superfície interior de l'alvèol està coberta amb un líquid anomenat surfactant, que manté la tensió superficial perquè els alvèols no es col·lapsin. Els alvèols són una mica elàstics. A causa de les seves primes parets, poden trencar-se amb una pressió interior de 0,13 bar sobre la pressió ambient (a vegades menys). (S. Å. Severinsen, 2010)

L'exterior dels pulmons està envoltat per una membrana anomenada pleura visceral. La paret toràcica o caixa toràcica, està recoberta per la pleura parietal. Entre les dues pleures hi ha un líquid que facilita el moviment, l'expansió i la contracció dels pulmons. Per sota de la caixa toràcica hi ha una fulla de músculs anomenada diafragma. L'aire s'intercanvia entrant i sortint dels pulmons pel moviment de la caixa toràcica i el diafragma. (S. Å. Severinsen, 2010)

En inhalar:

1. Els músculs es contreuen entre les costelles, elevant la caixa toràcica.
2. El diafragma es contrau i es mou cap avall.
3. El volum del pit augmenta i crea pressió negativa.
4. L'aire és aspirat als pulmons pel nas i la boca.

L'exhalació es produeix en relaxar els músculs de la caixa toràcica i del diafragma. El diafragma es desplaça cap amunt i la caixa toràcica descendeix. Aquestes dues accions fan disminuir el volum del pit i produeixen l'exhalació de l'aire. (S. Å. Severinsen, 2010)

3.6.2.3. Efectes de la immersió en els sistemes cardiovascular i respiratori

Els efectes de la immersió a causa de la pressió sobre els sistemes respiratori i cardiovascular dels bussejadors són múltiples. És important entendre'ls perquè són factors que contribueixen a altres efectes fisiològics del medi ambient subaquàtic. Alguns dels efectes més importants són:

- La compressió abdominal desplaça el diafragma cap amunt. Això limita l'expansió del pulmó.
- Gairebé un litre de sang es desplaça des de les extremitats a la regió toràctica. Això expandeix l'espai vascular en l'àrea del pit.
- El volum amb el qual es tancarà l'alvèol es redueix. Normalment, fins i tot amb l'exhalació, la majoria dels alvèols romanen oberts. L'envelliment augmenta el nombre d'alvèols que romanen tancats, causant una ventilació pulmonar pobre i alterant l'intercanvi gasós. El bussejador pot compensar-ho parcialment realitzant exhalacions completes.
- El canvi vascular augmenta el retorn de sang al cor. Aquest augment del retorn causarà una major sortida cardíaca resultant en una major pressió en l'artèria pulmonar.

(Scuba Schools International, Open Water Diver, n. d.)

3.6.2.4. Efectes de respirar en un medi més dens

Com més profund baixa el bussejador en el medi aquàtic, més dens es torna l'aire que respira degut a la pressió major que la de la superfície. En augmentar la profunditat, la pressió augmenta. (Richardson, D., 2006)

És important tenir en compte que si mantenim la respiració, els nostres pulmons es tanquen. Si descendim, el volum d'aquests disminueix pel fet que es troben tancats, la qual cosa podria tenir conseqüències negatives per a la nostra salut. Si la pressió augmenta i el volum disminueix, llavors també augmenta la densitat. (Richardson, D., 2006)

Per exemple, l'aire respirat a 10 metres de profunditat està a doble pressió i és el doble de dens. Quan es combinen els efectes de respirar en un mitjà més dens amb els efectes generals de la immersió (majors espais morts i major resistència en les vies respiratòries), el bussejador immediatament nota la falta de ventilació. El cos gastarà més energia en la respiració, deixant menys per a l'esforç físic. (Richardson, D., 2006)

3.7. Accidents i malalties del busseig

Una de les parts del busseig on més desconeixement hi ha i el motiu principal pel qual hem decidit fer aquest treball de recerca són les malalties i accidents que poden succeir en bussejar.

Entendrem per malalties i accidents del busseig totes aquelles situacions i lesions que puguin alterar l'organisme humà, afectant les funcions d'aquest, i que experimentem pel fet d'estar en el medi aquàtic bussejant. Tot i que aquestes malalties i accidents no són exclusives d'aquest medi, les condicions del medi aquàtic faciliten molt l'aparició d'aquests problemes mentre que en el medi terrestre no les podem experimentar de manera natural. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

Existeixen molts tipus de malalties del busseig, les que hem escollit per estudiar-les són la narcosi del nitrogen, la malaltia de descompressió, els barotraumatismes, la toxicitat de l'oxigen i les lesions per sobreexpansió. Aquestes, les hem escollit degut a ser molt comunes, a més de ser també perilloses per a la nostra salut. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

Les diferents lesions que podem experimentar les dividirem en dos grups: les malalties causades pels efectes de la pressió en l'ascens i les malalties causades per la pressió en el descens.

Descens	Ascens
Narcosi del nitrogen	Sobreexpansió pulmonar
Barotraumatismes	Malaltia de descompressió
Toxicitat de l'oxigen	

Taula 1: Exemples de malalties associades a l'ascens i el descens.

3.7.1. Narcosi del nitrogen

La narcosi del nitrogen la van descriure per primera vegada a principis del segle XX. Els bussejadors van bussejar a profunditats superiors a trenta metres durant bastant temps, quan de sobte van començar a mostrar un comportament inusual. Alguns van descriure aquesta sensació única com a «èxtasi de les profunditats». (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

Ningú sap exactament com el nitrogen produeix un efecte narcòtic a alta pressió parcial. Una de les teories més plausibles que explica l'efecte de la narcosi de nitrogen explica que s'esdevé un alentiment dels impulsos nerviosos cap a cervell, quan la beina grassa que cobreix alguns nervis absorbeix l'augment de nitrogen sota els efectes de la pressió. (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

Les sinapsis són espais en el teixit nerviós, i els impulsos que viatgen fins al cervell han de «saltar» sobre aquestes sinapsis. Atès que els nervis estan coberts per una beina de mielina rica en substàncies grasses i el nitrogen té una afinitat per aquest teixit gras, es creu que el nitrogen a alta pressió parcial causa l'efecte narcòtic en embolicar físicament la beina de mielina i desaccelerar els impulsos nerviosos que creuen la sinapsi. Els efectes de la narcosi de nitrogen s'assemblen més als d'un anestèsic que a la sensació d'eufòria. (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

És important parlar de la narcosi del nitrogen perquè és una de les malalties més comunes i fàcils d'experimentar, ja que tan sols hem de descendir de fondària bussejant, i perquè té un elevat risc per a la nostra salut.

3.7.1.1. Narcosi del nitrogen: signes i símptomes

La pressió parcial de nitrogen que produeix aquest efecte narcòtic sol produir-se a una profunditat de 30 metres aproximadament (4 bar de pressió total o 3,2 bar ppN₂). És cada vegada més intensa a mesura que la profunditat augmenta. S'ha demostrat que la narcosi de nitrogen no es pot eliminar ampliant la formació de busseig. Tots els bussejadors es veuen afectats per aquest fenomen fisiològic.

Hi ha molts símptomes de narcosi. La gravetat i el tipus són molt variables. Alguns textos els enumeren en funció de la profunditat a la qual normalment es presenten. Encara que, pels múltiples factors que intervenen, també poden aparèixer símptomes greus a profunditats molt menors de l'esperat. Els símptomes inclouen:

- Sensació de relaxació
- Mareig
- Eufòria
- Resposta lenta
- Sensació de benestar
- Augment dels errors de judici
- Vertigen
- Sentiments de paranoia o ansietat.
- Pèrdua de destresa
- Distorsió del temps
- Somnolència
- Incapacitat per a recordar detalls
- Confusió
- Disminució del raonament conceptual
- Al·lucinacions visuals
- Al·lucinacions auditives

(Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

El veritable perill de la narcosi de nitrogen és que l'aparició dels símptomes és subtil i el bussejador no s'adona del perill fins que és massa tard.

Hi ha diversos factors que disminueixen la capacitat d'un bussejador per a resistir els efectes de la narcosi de nitrogen:

- Acumulació de diòxid de carboni
- Descensos ràpids
- Fred
- Consum elevat d'aire
- Falta d'experiència en immersions per sota dels 18 m
- Treball pesat
- Falta de somni
- Esforç
- Perspectiva psicològica – esperar una narcosi severa
- Ansietat
- Fatiga

(Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

3.7.1.2. Narcosi del nitrogen: prevenció i tractament

Segons les certificadores PADI i SSI, ambdues coincideixen que no hauríem de realitzar immersions a profunditats superiors als 18 metres fins que haguem adquirit més experiència i formació en el busseig. El títol de busseig Open Water Diver, habilita al bussejador a descendir fins a un màxim de 18 metres i és el títol que tot bussejador necessita per fer immersions. Per tal de no arribar a experimentar la narcosi del nitrogen, un bussejador no hauria de superar la fondària màxima que li és permesa.

Segons la pàgina web Healthline, el tractament de la narcosi de nitrogen és relativament simple: ascendir a una profunditat menor. Si els símptomes són lleus, es podrà romandre a una profunditat menor. Si els símptomes no desapareixen, s'haurà de finalitzar la immersió i arribar a superfície. Aquí, tan sols s'haurà d'esperar que els símptomes s'esclareixin.

3.7.2 Barotraumatismes

Els barotraumatismes solen estar relacionats amb l'efecte del canvi de la pressió en els espais aeris del cos en descendir. Hi ha diferents tipus de barotraumatismes, però en aquest treball només ens centrarem en aquells que poden afectar-nos durant la immersió que farem posteriorment, que són els barotraumatismes de l'oïda i els barotraumatismes dels sins paranasals. (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

3.7.2.1. Barotraumatismes de l'oïda

Gairebé tots els bussejadors en algun moment han notat pressió o dolor en les seves orelles en descendir. Durant el descens, l'augment de la pressió de l'aigua es transmet a través dels teixits i fluids que envolten l'oïda mitjana causant la compressió de l'aire. El bussejador ha de compensar l'augment de pressió introduint aire a través de la trompa d'Eustaquí per a equilibrar el volum d'aire a la nova pressió. (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

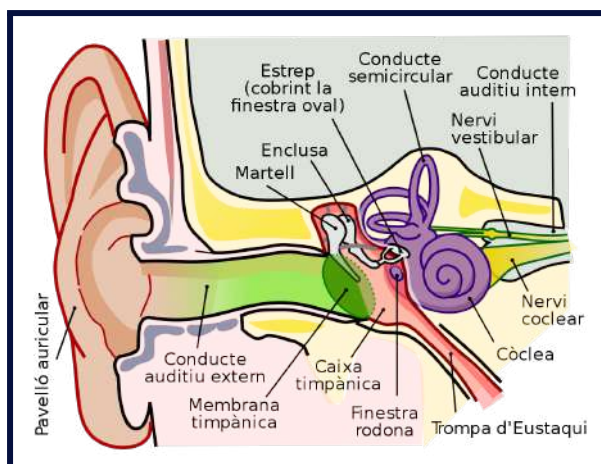


Figura 7: Estructura de l'oida. (n. d.). Viquipèdia

Si el bussejador no compensa la diferència de pressions, el revestiment de teixit de l'oida mitjana s'infla dilatant els vasos sanguinis, fet que pot provocar una hemorràgia en l'oida mitjana. El timpà es pot forçar fins al punt de trencar-se.

El barotraumatisme d'oida es manifesta mitjançant diferents símptomes com:

- Pressió progressant a dolor en l'oida
- Mal de cap

Per tal de prevenir un barotraumatisme d'oida es recomana reduir la velocitat del descens i fer la maniobra de Valsalva⁵. Si els sins no s'equilibren amb un esforç suau, s'ha de suspendre la immersió. Tampoc bussejarem si la congestió ens impedeix compensar. (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)



Figura 8: Maniobra de Valsalva. (n. d.). Buceopèdia.

⁵ Maniobra de Valsalva: consisteix a pessigar el nas i tractar d'exhalar a través d'ell suaument. L'aire es desvia cap a la trompa d'Eustaqüi i l'empeny perquè s'obri.

3.7.2.2. Barotraumatismes dels sins paranasals

Els sins paranasals són cavitats plenes d'aire en el crani. Hi existeixen quatre tipus connectats al nas:

1. Sins frontals - sobre els ulls
2. Sins maxil·lars - sota els ulls
3. Sins etmoidals - en la part alta del nas
4. Sins esfenoidals – sobre les temples⁶

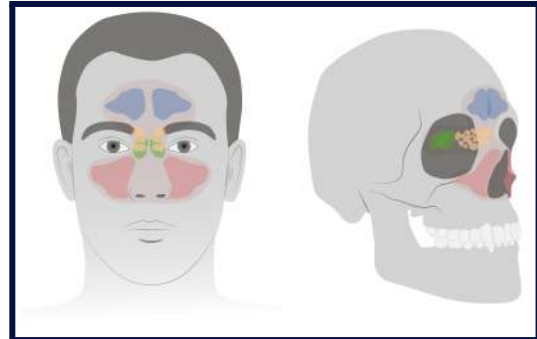


Figura 9: Sins paranasals. (n. d.). Lecturio.

Els sins paranasals estan connectats amb el nas a través de petits orificis anomenats *òstium* i solen estar oberts. A vegades les secrecions mucoses poden bloquejar l'obertura del si. El revestiment del si és una suau membrana mucosa que està repleta de vasos sanguinis. Quan el bussejador descendeix o ascendeix, l'aire entra-i-surt fàcilment dels sins. Compensar els sins requereix poc o cap esforç per part del bussejador. La congestió del si, i la inflamació nasal, o vegetacions en el conducte nasal poden impedir l'intercanvi d'aire entre el nas i el si. (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

Els principals símptomes que mostra una aparició de barotraumatisme dels sins paranasals són:

- Pressió progressant a dolor en:
 - Els sins frontals i etmoidals – es nota sobre els ulls
 - Els sins esfenoidals - darrere del nas, en el fons al cap
 - Els maxil·lars - en l'os de la galta, els nervis de les dents superiors estan prop dels sins maxil·lars, pot sentir-se com un mal de queixal.
- Mal de cap
- Sagnat pel nas i sang en el moc i la saliva.

⁶ Temples: la templa és la part del crani situada entre l'orella, la galta i l'ull.

Per tal de prevenir l'aparició d'aquest, es recomana utilitzar la maniobra de Valsalva. Si els sins no s'equilibren amb un esforç suau, suspendre la immersió. No bussejar si la congestió impedeix compensar. (Science of Diving, Scuba Schools International, n. d.)

3.7.3 La toxicitat de l'oxigen

L'oxigen és essencial per a la vida de cada cèl·lula de l'organisme. L'aire que respirem conté oxigen a una pressió parcial de 0,21 bar. La pressió parcial de 0,21 bar es denomina *normóxica*. (Richardson, D., 2006)

La majoria de bussejadors recreatius fan servir aire comprimit. Hi ha bussejadors que usen, després d'una formació adequada, "l'aire enriquit amb oxigen" o Nitrox, com hem comentat amb anterioritat. El cos humà, en la majoria dels casos, tolera unes determinades pressions parcials d'oxigen que estan entre 0,17 i 1,4 bar. A partir d'aquests valors podem experimentar conseqüències negatives tant per les altes com per les baixes pressions parcials d'oxigen. En aquest treball, estudiarem la que ens pot afectar, la *hiperòxia*. (Richardson, D., 2006)

Una alta pressió parcial d'oxigen (hiperòxia), pot provocar una intoxicació d'oxigen quan el ppO_2 arriba a 1,4 bar en l'organisme, afectant-nos al sistema nerviós central (SNC). (Richardson, D., 2006)

És important diferenciar l'aire del Nitrox, ja que, com hem vist abans, aquests dos presenten percentatges d'oxigen diferents. Bussejant amb una barreja de Nitrox s'arriba abans a la ppO_2 a la qual l'oxigen és tòxic. La toxicitat de l'oxigen en el sistema nerviós central (SNC) també es coneix com a "Efecte Paul Bert". (Open Water Diver, n. d.)

3.7.3.1. Síntomes de la toxicitat de l'oxigen

Alguns factors poden reduir la tolerància a alta pressió parcial de l'oxigen. Entre aquests podem trobar: l'estrès tèrmic, alguns medicaments o drogues, la mateixa fisiologia del bussejador i certes anomalies patològiques (genètiques o malalties relacionades).

“El major perill per a un bussejador amb toxicitat per O₂ del sistema nerviós central són les convulsions. Poden causar la pèrdua del subministrament d'aire i l'ofegament.” (Open Water Diver, Scuba Schools International, n. d.)

3.7.3.2. Prevenció i tractament de la toxicitat de l'oxigen

Desgraciadament, el bussejador compta amb poc marge de reacció un cop els símptomes apareixen. Alguns símptomes que es poden apreciar són tremolors facials, ansietat, nàusees, convulsions i pèrdua del coneixement. Només aparegui un d'aquests símptomes, s'haurà de cancel·lar la immersió i regressar a un ambient amb una ppO₂ de 0,21 bar i buscar tractament mèdic, si els símptomes no desapareixen. (Open Water Diver, Scuba Schools International, n. d.)

3.7.4. La malaltia de descompressió

La primera descripció clínica de la malaltia de descompressió, també anomenada «la malaltia de Caisson», va ser obra del fisiòleg francès Paul Bert, qui va descobrir que el gas que respirem sota pressió empeny grans quantitats de nitrogen dins del cos.

La malaltia de descompressió es dona quan un bussejador ascendeix massa ràpid, ja que es redueix la pressió de sobte, el nitrogen se sobresatura i abandona la solució formant bombolles en els teixits i en el flux sanguini. Les bombolles, també conegudes com a “gas en fase lliure” poden crear una sèrie de problemes per als bussejadors. Per tal d'entendre la malaltia de descompressió, és vital entendre abans les lleis de Henry i Dalton, estudiades amb anterioritat. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

El nitrogen roman dissolt en els diferents teixits del nostre cos mentre es manté una pressió major que la de la superfície. Segons la llei de Henry, la quantitat de nitrogen absorbit en els nostres teixits és directament proporcional a la pressió parcial de l'aire que es respira. Per tant, com major sigui la fondària a la qual es troba un bussejador, major la saturació d'aquest gas al seu cos. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

Per exemple, a una profunditat de 10 metres, la pressió absoluta és de 2 bar i la pressió parcial de nitrogen (ppN₂) s'haurà duplicat a 1,58 bar (2 x 0,79). La pressió parcial de la superfície era de 0,79 bar i la nova pressió és d'1,58 bar. Hi ha una diferència de 0,79 bar, coneguda com a "gradient". Aquest gradient és la força que fa que el nitrogen es difongui pel teixit pulmonar i s'absorbeixi en la sang. Una vegada ha arribat al flux sanguini, es transporta per tot el cos. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

El nostre cos, quan ens submergim, pot tolerar un gradient alt de saturació, com passa en un descens ràpid. No obstant això, té una tolerància baixa per a un gradient alt de dessaturació, com seria el cas en un ascens ràpid.

Llavors, quan un bussejador ascendeix comença el procés de dessaturació. La pressió parcial dels gasos en l'aire que respirem baixa quan la pressió disminueix i el procés de saturació s'inverteix. Com a resultat, pot produir-se una sobresaturació dels teixits i la sang. Els gasos poden sortir de la solució per a formar bombolles de nitrogen, que poden provocar la síndrome coneguda com a malaltia de descompressió. Així, els ascensos ràpids o no controlats poden tenir conseqüències molt greus per a la salut. (Scuba Schools International, Science of Diving, n. d.)

La següent taula mostra el temps màxim que un bussejador hauria d'estar a una fondària per tal de no patir una sobresaturació de nitrogen en l'ascens. En cas que se sobrepassés aquest temps, el bussejador hauria de fer parades de descompressió.

PROFUNDIDAD EN METROS	MINUTOS DE INMERSIÓN											
6	30	60	90	120	150	180	240	300	360	420	480	600
9	30	45	60	90	100	120	150	180	190	210	240	270
12	22	30	40	60	70	80	90	120	130	150	160	170
15	18	25	30	40	50	60	75	85	95	105	115	124
18	14	20	25	30	40	50	60	70	80	85	92	100
21	12	15	20	25	35	40	50	60	63	66	70	75
24	10	13	15	20	25	29	35	48	52	56	60	65
27	9	12	15	20	23	27	35	40	43	46	50	54
30	7	10	12	15	18	21	25	29	36	40	44	48
33	6	10	12	15	18	22	26	30	36	40	44	48
36	6	8	10	12	15	19	25	30	36	40	44	48
39	5	8	10	13	16	21	26	30	36	40	44	48
42	5	7	9	11	14	18	23	28	33	38	43	48

TABLA A
DESCOMPRESIÓN CON AIRE

Figura 10: Taula de descompressió. (n. d.) Buceo Racional.

3.7.4.1. Síntomes de la malaltia de descompressió

El principal símptoma de la malaltia de descompressió es descriu com un dolor agut i persistent, sobretot en les articulacions. Les articulacions del cos semblen ser les més susceptibles a l'estrès produït per la descompressió, probablement a causa que la circulació en aquestes zones sol ser naturalment dolenta i, per tant, no poden eliminar el nitrogen eficaçment durant la descompressió. Altres dels símptomes associats a aquesta malaltia són: inflamació, irritació i dolor muscular, inflamació de les extremitats, aparició de taques a la pell (petèquies), erupcions, i la disminució del pols, entre d'altres. (Scuba Schools International, Open Water Diver, n. d.)

3.7.4.2. Prevenció i tractament de la malaltia de descompressió

Segons la certificadora de busseig SSI (Scuba Schools International), per evitar patir aquesta malaltia hem de seguir les següents indicacions:

1. Planificar la immersió i bussejar segons aquesta. No bussejar més enllà de la nostra formació.
2. Ser conscients. Comprovar el nostre ordinador⁷ constantment per a controlar la profunditat i el temps i l'aire restants. Realitzar ascensos lents i parades de seguretat.
3. Preparar-nos. Prendre cura del nostre estat físic per a la immersió mantenint-nos hidratats i descansats. Prendre molta aigua durant tot el dia de busseig.
4. Ser honestos. Avaluar la nostra condició física sent realistes.
5. Descansar. No fer massa exercici 6 hores abans de la immersió.
6. Mantenir la nostra temperatura corporal. No hem de tenir fred durant les immersions. Utilitzar sempre protecció tèrmica adequada per a estar còmodes i mantenir la sang en moviment.

⁷ Ordinador de busseig: és un dispositiu que ens permet conèixer totes les dades necessàries durant una o diverses immersions: temperatura de l'aigua, durada de la immersió, metres de profunditat, etc.

El primer tractament per a la malaltia de descompressió és administrar oxigen al cent per cent a la persona afectada i derivar-la a un centre mèdic. En la majoria dels casos, el tractament serà la recompressió (cambra hiperbàrica⁸). La possibilitat de sofrir danys en els teixits és menor si el diagnòstic i el tractament s'inicien tan aviat com sigui possible.

3.7.5. Sobreexpansió pulmonar

Per aconseguir entendre com funcionen les lesions de sobreexpansió pulmonar és important conèixer la llei de Boyle, la qual hem estudiat anteriorment. Les lesions per sobreexpansió accidents com el pneumotòrax, l'emfisema subcutani i l'emfisema mediastínic. (Scuba Schools International, Open Water Diver, n. d.)

Com hem vist, segons la llei de Boyle, quan la pressió augmenta, disminueix el volum, i a la inversa. Si es redueix la pressió absoluta en un recipient flexible ple d'aire com, per exemple, els pulmons, el volum del recipient s'incrementarà, sempre que aquest romangui tancat. (Scuba Schools International, Open Water Diver, n. d.)

Per exemple, si bussegem fins a una profunditat de 30 metres (4 bar), omplim els pulmons d'aire (5 litres) i ascendim a la superfície (1 bar) sense exhalar, el gas dels nostres pulmons s'expandirà per a omplir un volum de 20 litres. En aquestes situacions, el teixit pulmonar es trenca deixant lesions molt greus que poden arribar a ser mortals. (Scuba Schools International, Open Water Diver, n. d.)

3.7.5.1. Síntomes de la sobreexpansió pulmonar

Com hem vist anteriorment, les lesions per sobreexpansió les podem dividir en tres grups, cadascun d'aquests es caracteritza per tenir uns símptomes diferents:

- L'emfisema subcutani es caracteritza per un embalum en la zona del coll amb crepitació (sensació de cruixit en tocar l'àrea inflamada), canvis en la veu, com a resultat de la inflamació i possibles dificultats respiratòries.

⁸ Cambra hiperbàrica: és un dispositiu mèdic per a aplicar una pressió atmosfèrica elevada d'oxigen pur al cos, amb la finalitat que aquest element arribi a través del torrent sanguini a les àrees on existeix una deficiència.

- L'emfisema mediastínic es caracteritza per dolor en el pit, dificultat de respirar, feblesa i col·lapse degut a la pressió sobre el cor i els grans vasos sanguinis. A més, es nota la cianosi (color blau) dels llavis i les ungles a causa de les dificultats circulatòries.
- El pneumotòrax es caracteritza per tenir aire atrapat en la pleura. Les dificultats respiratòries poden ser pronunciades, sobretot si tots dos pulmons sofreixen un col·lapse.

És important saber que aquestes condicions no es produeixen de forma aïllada, sinó que es veuen normalment juntes quan es produeix una lesió de sobreexpansió.

3.7.5.2. Prevenció i tractament de la sobreexpansió pulmonar

Les lesions de sobreexpansió són fàcils de prevenir. Tot el que hem de fer és pensar abans de començar la immersió per a evitar les conseqüències d'aquestes lesions. Les certificadores SSI (Scuba Schools International) i PADI (Professional Association of Diving Instructors) recomanen prendre les següents prevencions.

1. Respirar contínuament durant tota la immersió i mai contenir la respiració. És absolutament necessari mantenir un cicle de respiració continu, equilibrat i rítmic. Mai respirar de manera explosiva o irregularment.
2. No bussejar amb congestió respiratòria. Si hi ha antecedents de problemes greus en els pulmons (tuberculosi, pneumònia, etc.) que potser han resultat en un teixit cicatricial en els pulmons, demanar fer-se una radiografia del tòrax per a determinar el nostre estat físic per a bussejar.
3. No fumar. Fumar s'ha relacionat amb malalties de pulmó, causant que els alvèols perdin la seva elasticitat i, per tant, la seva capacitat per a resistir el trencament en situacions d'excés de pressió. Mantenir un bon nivell de condicionament cardiovascular.
4. Usar l'equip adequat i mantenir-lo en les millors condicions. Assegurar-se de tenir un Sistema Total de Busseig d'alta qualitat, i fer un manteniment regularment i utilitzar aquest sistema correctament mentre es busseja.

5. És essencial ser capaç de mantenir la flotabilitat sense esforç en la columna de l'aigua per a prevenir una lesió de sobreexpansió.
6. Ascendir lentament, mantenir el control i recordar que mai s'ha d'ascendir més ràpid que 9 metres per minut. Sempre mirar cap amunt mentre es fa l'ascens. Aquesta pràctica assegura que la via respiratòria romangui oberta i protegeix contra una col·lisió amb objectes per sobre nostre.

Pel que respecta al tractament, la SSI recomana que després d'una immersió, si el bussejador nota símptomes de lesió de sobreexpansió o veu a algú que les està patint, demanar ajuda immediatament.

El tractament per la sobreexpansió pulmonar consisteix en:

1. Administrar oxigen, si alguna persona està qualificada per tal.
2. Preparar-se per realitzar la reanimació cardiopulmonar (RCP), sempre que algú estigui qualificat per fer-ho.
3. Obtenir l'ajuda mèdica adequada (urgències).

4. MARC PRÀCTIC

4.1. INTRODUCCIÓ

Un cop estudiades les diferents malalties i accidents que podem sofrir en fer submarinisme (les seves causes, com prevenir-les i com tractar-les) passem a la realització de la part pràctica d'aquest treball de recerca per tal de comprovar si la tercera hipòtesi "Potser, en experimentar les malalties i accidents del busseig en el nostre propi cos, patirem canvis físics, però no cognitiu-conceptuals o psicomotrius." es compleix o no.

Per tal de fer això, hem escollit dues malalties per veure els seus efectes físics, cognitiu-conceptuals o psicomotrius sobre el nostre cos. D'entre totes les malalties i accidents que podem patir en fer submarinisme, mencionades en els apartats

anteriors, les que hem escollit per estudiar-les experimentalment són: la sobreexpansió pulmonar i la narcosi del nitrogen. Pel que ja hem estudiat, sabem que la sobreexpansió pulmonar ocasiona canvis físics mentre que la narcosi del nitrogen ocasiona canvis a nivell cognitiu-conceptual o psicomotriu. Per tant, m'exposaré a ambdues per veure si de debò pateixo els símptomes vists anteriorment.

Cal dir que per fer els experiments hem pres tota una sèrie de mesures de seguretat per minimitzar el risc i protegir la nostra salut. Així, tots els experiments els hem fet amb la supervisió d'un equip de bussejadors professionals del centre de busseig H₂O situat a Palamós (Costa Brava).

4.2. EXPERIMENT I: SOBREEXPANSIÓ PULMONAR

Aquesta part de la recerca s'ha dividit en dues parts:

- La primera,consisteix en la realització d'un experiment (immersió fins a 30 metres de fondària) per veure si la sobreexpansió pulmonar vertaderament provoca canvis físics, cognitiu-conceptuals o psicomotrius en el nostre cos. Com que comprovar experimentalment sobre el nostre propi cos la sobreexpansió pulmonar comporta un risc elevat per a la salut, s'ha usat una ampolla d'aigua d'1,5 litres per simular el que podria passar als nostres pulmons.
- La segona, consisteix en la realització d'una entrevista a un company de busseig que va patir una sobreexpansió pulmonar per tal de comptar amb més informació per comprovar la hipòtesi 3.

PART 1

A. Materials usats per a la realització de l'experiment

- Ampolla d'aigua de plàstic d'una capacitat d'1,5 L.
- Equips de busseig per a 4 persones compostos per: l'ampolla d'aire, el regulador, el vestit de busseig i el jacket. Veure l'annex 7.2.
- Equip per a la gravació de l'experiment (GoPro).

B. Procediment experimental

1. Busquem un lloc adequat per fer la immersió: fondària mínima de 30 metres.
2. Revisem l'equip que utilitzarem (assegurar-nos que estigui en bones condicions i funcional) i ens llencem a l'aigua.
3. Amb l'ampolla d'aigua oberta, apuntant cap avall, descendim fins als 30 metres. La persona encarregada de fer-la baixar va ser una instructora de busseig per tal d'aconseguir fer l'experiment al primer intent.
4. Un cop a baix, omplim l'ampolla d'aigua amb aire mitjançant el regulador⁹ i la tanquem per simular la inspiració d'un bussejador.
5. Ascendim amb una velocitat controlada fins a la superfície amb l'ampolla tancada (només fent una parada de seguretat als 5 metres de fondària).
6. Observem els canvis que s'han produït en l'ampolla de plàstic.



Figura 11: Fondària de l'experiment. En aquesta imatge, podem apreciar que vam descendir fins a 30,2 metres de profunditat (part superior esquerra de l'ordinador de busseig).

El següent vídeo mostra la seqüència dels passos realitzats en l'experiment (descens i ascens fins a 30 metres de profunditat), a més del resultat final.

<https://youtu.be/Ff9Ela9BQYE>

⁹ Regulador: el regulador de busseig és l'accessori que ens permet respirar, a més, és l'encarregat de regular el flux d'aire adequat de manera voluntària, per a permetre una respiració senzilla i de qualitat.

C. Resultats

La base teòrica en què es fonamenta aquesta part de l'experimentació és la llei de Boyle. Segons aquesta, sabem que per cada 10 metres que baixem sota l'aigua, la pressió augmenta una atmosfera. Per tant, el volum dels gasos disminuirà fins a la meitat. Així, per exemple, si augmenta la pressió dues atmosferes, el volum dels gasos disminuirà a una tercera part.

Seguint la llei de Boyle sabem que:

$$P1 \cdot V1 = P2 \cdot V2$$

A on $P1 \cdot V1$ és la relació de pressió/volum de l'ampolla en el punt 1, a 0 metres respecte al nivell del mar, la qual es manté en tot el procés fins al punt 2, a trenta metres de profunditat, $P2 \cdot V2$.

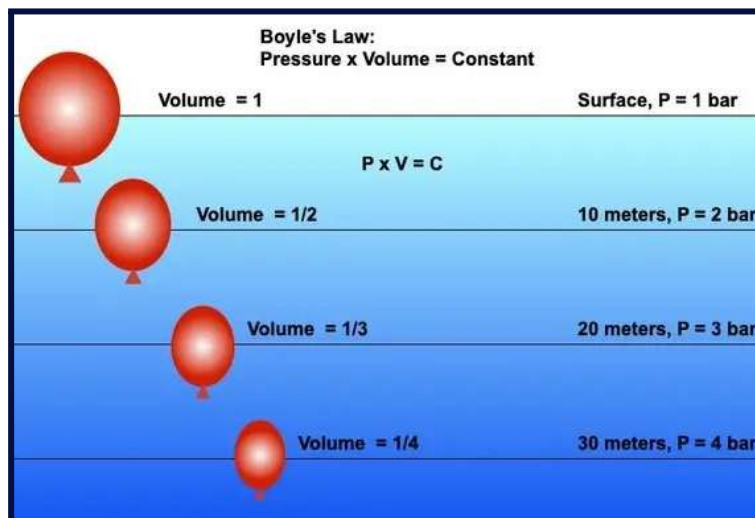


Figura 12: Volum i pressió de l'aire en relació amb la fondària (2020) Freediving Hurghada.

Així, basant-nos en la llei de Boyle, aquesta és la taula de valors teòrics que relacionen la pressió i el volum d'aire de l'ampolla d'aigua durant tot el descens de l'experiment, aproximadament uns trenta metres de fondària.

Descens (respecte al nivell del mar)	Pressió (atmosferes)	Volum (litres)	P·V
Nivell del mar (0 metres)	1	1,5	$1 \cdot 1,5 = 1,5$
10 metres de fondària	2	0,75	$2 \cdot 0,75 = 1,5$
20 metres de fondària	3	0,5	$3 \cdot 0,5 = 1,5$
30 metres de fondària	4	0,375	$4 \cdot 0,375 = 1,5$

Taula 2: Taula de valors teòrics que relacionen la variació de la pressió i el volum d'aire en el descens de l'experiment.

Segons la llei de Boyle, els valors teòrics que relacionen la pressió i el volum d'aire de l'ampolla d'aigua durant tot l'ascens de l'experiment, fins a la superfície, són:

Ascens (respecte al nivell del mar)	Pressió (atmosferes)	Volum (litres)	P·V
30 metres de fondària	4	1,5	6
20 metres de fondària	3	2	6
10 metres de fondària	2	3	6
Terra ferma (0 metres)	1	6	6

Taula 3: Taula de valors teòrics que relacionen la variació de la pressió i el volum d'aire l'ascens de l'experiment.

Experimentalment s'ha observat que:

- A mesura que descendim en l'aigua, el volum d'aire dins l'ampolla s'ha reduït seguint la llei de Boyle: el volum d'aire és la meitat als 10 metres, una tercera part als 20 metres i una quarta part als 30 metres.
- Després d'emplenar l'ampolla, mentre ascendíem, hem vist com l'ampolla es va deformant i va guanyant duresa.
- Als últims metres de l'ascens, l'ampolla ha perdut la seva forma original.
- Una vegada fora de l'aigua, a la superfície, en obrir l'ampolla, s'ha produït una explosió d'aire.
- En tota la immersió, no hem patit cap canvi a nivell cognitiu-conceptual o psicomotriu

PART 2

Com hem vist anteriorment, les lesions per sobreexpansió poden acabar en diferents accidents. Per reforçar la nostra investigació s'ha fet una entrevista a un company de busseig, en Sergi Pedreira, qui va patir un pneumotòrax derivat d'una sobreexpansió pulmonar.

A l'entrevista li vam fer les següents preguntes:

- ★ Quin accident vas tenir i com va sorgir?
- ★ Quin va ser el tractament que vas tenir i com va ser la teva experiència en aquest?
- ★ Quines conseqüències vas tenir a partir d'aquest accident?

Aquest enllaç inclou l'entrevista completa:

https://www.youtube.com/watch?v=36sekfr7KK0&ab_channel=MarioBofill

Es pot veure la transcripció de l'entrevista completa a l'annex 9.1.

La informació rellevant per a la nostra investigació que hem obtingut de l'entrevista amb el bussejador Sergi Pedreira és la següent:

- Malalties i accidents com la sobreexpansió pulmonar sempre poden passar-li a qualsevol bussejador en el moment menys esperat. Per això, és important

conèixer una mica més de nosaltres, els perills als quals ens exposem i com reaccionar en una situació com aquesta.

- Segons en Sergi, si un bussejador pateix una experiència traumatitzant amb la sobreexpansió pulmonar, aquest pot desenvolupar seqüeles psicològiques.

4.3. EXPERIMENT II: Narcosi del nitrogen

Com ja s'ha explicat en apartats anteriors, els principals efectes de la narcosi del nitrogen són el mareig, la pèrdua de la destresa i un comportament inusual, entre d'altres. Per tal de provar les nostres habilitats en aquestes condicions, es van preparar tres exercicis, que es detallen a continuació

Cal dir que aquest experiment s'ha realitzat el mateix dia que l'experiment de la sobreexpansió pulmonar amb el mateix equip de bussejadors.

A. Materials usats per a la realització de l'experiment

Per fer la immersió s'han necessitat equips de busseig per a 4 persones (els mateixos materials que a l'experiment realitzat sobre la sobreexpansió pulmonar). I específicament per a cada exercici:

Exercici 1: Una taula amb operacions matemàtiques (suma, multiplicació i divisió) i un llapis especial per escriure sota l'aigua.

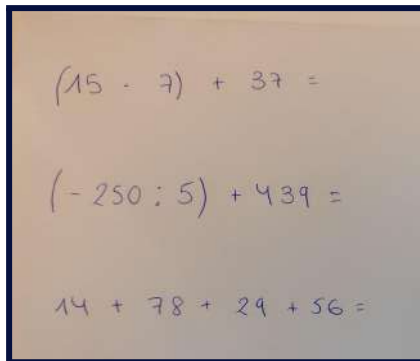
Exercici 2: Un cargol i una femella.

Exercici 3: No es va necessitar cap material específic.

B. Procediment experimental

Ens llancem a l'aigua des del mateix lloc des d'on hem fet la immersió de l'experiment I, a una fondària de 30 metres, i es procedeix a realitzar els tres exercicis en el següent ordre:

- **Exercici 1:** Un dels instructors li dona a un altre bussejador (en concret, a l'autor d'aquest treball) una taula amb unes operacions matemàtiques, amb cert grau de dificultat, perquè les resolgui.



$$(15 - 7) + 37 =$$

$$(-250 : 5) + 439 =$$

$$14 + 78 + 29 + 56 =$$



Figures 13 i 14: Operacions matemàtiques del primer exercici i moment en què es resolen.

- **Exercici 2:** Un dels instructors li dona a un altre bussejador (l'autor d'aquest treball) un cargol i una femella perquè els cargoli.



Figura 15: Bussejador realitzant l'exercici 2.

- **Exercici 3:** Consisteix en que una instructora realitza una sèrie de moviments que un altre bussejador (l'autor d'aquest treball) ha de copiar.



Figura 16: Bussejador imitant la sèrie de moviments que la instructora ha fet.

En aquest enllaç podem veure els tres exercicis realitzats en l'experiment de la narcosi del nitrogen:

<https://youtu.be/1BWjCHBE9GQ>

C. Resultats

Primer exercici: El bussejador ha sentit que no era capaç de fer les operacions matemàtiques d'una manera continuada ja que, constantment, perdia el fil dels seus pensaments. A més, mostra una resposta lenta dels seus pensaments i dificultat per recordar allò que estava fent. Aquests símptomes han impedit que el bussejador hagi acabat la tasca satisfactòriament.

Segon exercici: A l'hora de cargolar el cargol a la femella, el bussejador ha sentit una falta de destresa. Ha trobat més dificultats per resoldre aquest exercici de les que hauria trobat a la superfície. Aquest exercici s'ha acabat amb èxit.

Tercer exercici: A l'inici, el bussejador experimenta una forta confusió i no entén les ordres que la instructora li indica. Tot i això, la instructora el rectifica, aquest el realitza tot i que sent una manca de destresa i fluïdesa dels seus moviments.

Un cop finalitzats els exercicis vam tornar al vaixell, durant l'ascens fins aquest, es nota com els efectes de la narcosi del nitrogen desapareixen.

5. CONCLUSIONS

Després d'analitzar la informació derivada de la recerca d'informació i dels experiments realitzats, es conclou que:

Pel que fa a la **hipòtesi 1**, “**Potser a l'aigua, la pressió varia més ràpidament que en l'aire**”, podem dir que aquesta **és certa** ja que, després de fer els corresponents estudis del medi aquàtic, hem comprovat que, efectivament, l'aigua exerceix una major pressió sobre nosaltres que no pas l'aire. Per tal d'assolir un bar de pressió manomètrica, ens hem de submergir deu metres sota aigua, mentre que en el medi terrestre es necessiten uns quatre-cents quilòmetres d'atmosfera per igualar aquesta pressió.

Pel que fa a la **hipòtesi 2**, “**Potser els pulmons variaran de dimensió en augmentar la pressió.**”, si tenim en compte allò que enuncia la llei de Boyle i el primer experiment realitzat amb l'ampolla de plàstic (simulant la sobreexpansió pulmonar), hem d'acceptar-la sempre que considerem els pulmons com a recipients tancats. En canvi, tenint en compte que a l'hora de bussejar estem constantment respirant, aquesta hipòtesi no pot ser acceptada. Llavors, conclouem que, en el moment de plantejar la hipòtesi l'hauríem d'haver concretat més per tal d'obtenir un resultat més conclouent.

Pel que fa a la **hipòtesi 3**, “**Potser, en experimentar les malalties i accidents del busseig en el nostre propi cos, patirem canvis físics, però no cognitiu-conceptuals o psicomotrius**”, si tenim en compte el primer experiment realitzat, hem vist que la sobreexpansió pulmonar sí que pot provocar canvis físics, tal i com hem observat amb els canvis de forma que ha patit l'ampolla d'aigua en les fases d'ascens i descens de la immersió. Aquests canvis corresponen a allò que hem estudiat en la llei de Boyle, que enuncia que «si la temperatura roman constant, la pressió i el volum d'un gas són inversament proporcionals».

Per tant, en el moment de realitzar una immersió, s'ha de tenir en compte que sempre que el bussejador respiri sota l'aigua, ha d'ascendir sense aguantar la respiració ja que sinó pot patir sobreexpansió pulmonar.

Tot i que la sobreexpansió pulmonar no provoca canvis a nivell cognitiu-conceptual o psicomotriu, l'entrevista amb Sergi Pedreira ens ha revelat que sí que pot desencadenar seqüeles psicològiques.

Pel que fa a l'experiment II, relacionat amb la narcosi del nitrogen, podem concloure que aquesta malaltia provoca canvis cognitiu-conceptuals o psicomotrius ja que com s'ha vist en l'experiment II dificulta la capacitat de resoldre exercicis matemàtics o exercicis en què es treballa la coordinació motriu.

Per tant, les malalties i accidents del busseig poden ocasionar tant canvis físics com canvis a nivell cognitiu-conceptual o psicomotriu. Així, la **hipòtesi 3 queda refutada**.

Una vegada acabada aquesta investigació, ens hem adonat que el món de les pressions i el busseig és més complex del que ens havíem pensat inicialment. Degut

a l'extensió màxima del treball, el principal limitant, hem hagut de deixar de costat informació interessant, i és per això que proposem noves vies d'investigació de cara al futur.

En aquest treball ens hem centrat, sobretot, en els canvis de pressió entre el medi aquàtic i el medi terrestre. Però parlant del medi terrestre sempre hem tingut com a referència els zero metres a nivell del mar. Seria interessant parlar també sobre què passaria si augmentéssim d'altitud un cop a terra ferma, per exemple, per què després de bussejar està prohibit volar fins que passin vint-i-quatre hores? Què passaria si anéssim a l'espai després de bussejar?

6. BIBLIOGRAFIA

LLIBRES

Richardson, D. (2006). Padi Open Water Diver Manual 2006 Edition. PADI.

Gotera, G. G. G. (1998). *Guía de buceo recreativo*. TRES TORRES.

Severinsen, S. Å. (2010). *Breatheology: The Art of Conscious Breathing*. Idelson Gnocchi Pub.

BIBLIOGRAFIA WEB

BOE.es - *BOE-A-2020-6745 Real Decreto 550/2020, de 2 de junio, por el que se determinan las condiciones de seguridad de las actividades de buceo*. (2020, 2 junio). Recuperat 1 de desembre de 2022, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2020/06/02/550>

Bupa. (n. d.) *Sistema cardiovascular: ¿Cómo funciona?* Recuperat 6 juliol de 2022, de <https://www.bupasalud.com/salud/sistema-cardiovascular>

DB Pedia, About: (n. d.). *Temperatura*. Recuperat 20 de desembre de 2022, de <http://ca.dbpedia.org/page/Temperatura>

Dezube, R. (2022, noviembre 18). *Intercambio de oxígeno y dióxido de carbono*. Manual MSD versión para público general. Recuperat 5 de desembre de 2022, de <https://www.msmanuals.com/es-es/hogar/trastornos-del-pulm%C3%B3n-y-las-v%C3%ADas-respiratorias/biolog%C3%ADa-de-los-pulmones-y-de-las-v%C3%ADas-respiratorias/intercambio-de-ox%C3%ADgeno-y-di%C3%B3xido-de-carbono>

DIEC2. (n. d.). *Diccionari de la llengua catalana*. Massa. Recuperat 2 de desembre de 2022, de <https://dlc.iec.cat/Results?EntradaText=massa>

Divers Alert Network. (2019). Sobreexpansión pulmonar. Recuperat 16 de novembre de 2022 de https://www.diversalertnetwork.org/recreational-diving/Recreational_Diving_Safety_and_Risk_Management/Diving_Injuries_Treatments/Pulmonary_Barotrauma.

Divertysub, E. D. B. (n. d.). *Aprender a bucear, La adaptación al medio subacuático-Escuela y Centro de Buceo en Barcelona y Costa Brava en Lloret de Mar*. Recuperat 9 de octubre de 2022, de

<https://www.divertysub.com/es/Aprender-a-bucear-La-adaptacion-al-medio-subacuatico>

Estructura de l'oïda. (n. d.). Viquipèdia. Recuperat el 6 de novembre de 2022 <https://ca.wikipedia.org/wiki/Orella>

Gay-Lussac's Law — Overview & Formula - Expii. (n. d.). expii. Recuperat 25 d'octubre de 2022, de <https://www.expii.com/t/gay-lussacs-law-overview-formula-11095>

Gunn, T. (2021, 17 abril). *Pressió absoluta*. Understanding Pressure in Physics IDC Dive Theory. Recuperat 21 novembre de 2022, de <https://www.idcislamujeres.com/post/understanding-pressure-in-physics-idc-dive-theory>

Imatge del cor. (n. d.). Wikimedia Commons. Recuperat 26 de desembre de 2022, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagram_of_the_human_heart.svg

Instrumentos WIKA S.A. (n. d.). *presión absoluta, presión relativa, presión diferencial - WIKA España*. Recuperat 6 de desembre de 2022, de https://www.wika.es/landingpage_differential_pressure_es_es.WIKA

La física de buceo - fenómenos relevantes en el buceo. (2022, 23 agosto). Snorkel y Buceo. Recuperat 7 de septiembre de 2022, de <http://www.snorkelybuceo.com/fisica-de-buceo/>

La matèria: volum, massa i densitat. (2022, 28 novembre). Naturalsom. <https://blocs.xtec.cat/naturalsom/1r-eso/2-la-materia-volum-massa-i-densitat/>

Liceo AGB (n. d.) *Solubilidad de gases - Ley de Henry* Recuperat 28 d'octubre de 2022, de <https://www.liceoagb.es/quimigen/diso4.html>

NIH - National Library of Medicine. (2022). Henry's Law. Recuperat 28 d'octubre de 2022, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544301/>

Open Water Diver - Get certified as Open Water Diver de SSI. (n. d.). DiveSSI. Recuperat 18 de maig de 2022, de <https://www.divessi.com/es/get-certified/scuba-diving/open-water-diver>

Saeyns, D. (2020, 2 octubre). *Boyle's law in freediving.* Freedive Hurghada - Freediving Hurghada. Recuperat 29 d'octubre de 2022, de <https://freedivehurghada.com/en/boyles-law-in-freediving/>

Science, L. T. (2020, 20 enero). *Charles' Law and Gay-Lussac's Law.* Let's Talk Science. Recuperat 28 d'octubre de 2022, de <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/charles-law-and-gay-lussacs-law>

Science of Diving - Start the fascinating SSI Science of Diving Specialty – Get certified with SSI. (n. d.). DiveSSI. Recuperat 18 de maig de 2022, de <https://www.divessi.com/en/advanced-training/scuba-diving/science-of-diving>

Taula de descompressió. (2022). Buceo Racional. Recuperat 8 de desembre de 2022, de <https://www.buceo.blog/el-limite-de-no-descompresion/>

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998, 20 julio). *Charles's Law | Definition & Facts.* Encyclopedia Britannica. Recuperat 5 de juliol de 2022, de <https://www.britannica.com/science/Charless-law>

Volume. (2022c). En *The Merriam-Webster.com Dictionary.* Recuperat 5 de juliol de 2022, de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/volume>

50 years of diving. (2017). SSI 50 years. Recuperat 14 d'abril de 2022, de <https://ems.divessi.com/ems/es/course/el-50o-aniversario-de-ssi/50-anos-de-ssi/el-origen-de-ssi>

APLICACIONES

SSI (4.0.97). (2017). [Software d'ordinador i aplicació mòbil]. Google Commerce Ltd.

7. ANNEXOS

7.1. Annex I: Transcripció de l'entrevista

Hola, Mario, soc Sergi Pedreria de Nadal, soc instructor de busseig des de fa dos anys i bussejador des de fa sis o set anys.

Quin accident vas tenir i com va sorgir?

L'accident que vaig tindre jo va ser un accident de sobreexpansió pulmonar amb resultat de Pneumotòrax. Que vol dir això? Que l'aire que respirem sota pressió es va sobre expandir en el pulmó i el pulmó no va aguantar llavors va rebentar.

Quin va ser el tractament que vas tenir i com va ser la teva experiència en aquest?

Bueno, l'experiència dolenta, però de tot s'aprèn. El tractament va ser, en un primer moment, en el moment just que un sap i nota que ha tingut una sobreexpansió, i en aquest cas un Pneumotòrax, el tractament és, ràpidament, serveis d'emergència i posar un tub toràcic. És a dir, el pulmó s'ha comprimit perquè s'ha quedat atrapat l'aire al tòrax i llavors el primer que s'ha de fer és posar un tub per expandir el pulmó un altre cop perquè pugui sortir aquest aire. A partir d'allà, doncs hi ha una intervenció quirúrgica en la qual el que es fa és una bullectomia i una abrasió pleural que això vol dir, bueno, això va passar perquè hi havia una bulla, una petita bombolla al pulmó, es treu aquesta bombolla, és grapa el pulmó, literalment, i després s'enganxa la pleura i el pulmó, per evitar que torni a passar res d'això.

Quines conseqüències vas tenir a partir d'aquest accident?

Bueno, les conseqüències van ser, a part de deixar durant un any de fer el que més m'agrada del món que és bussejar, doncs també va haver-hi una rehabilitació mental perquè una vegada està solucionat el tema físic, i ja et donen el permís de tornar a l'aigua, has de lluitar amb el cap, perquè vulguis o no et queda allà una coqueta, que dius ostres i si passa, i si, i si... Després de dos anys podem dir que està superat tant la part física com la part psicològica.

Val això és tot, moltes gràcies.

De res, un plaer.

7.2. Annex II: Imatges de material emprat



Figura 17: Imatge d'un regulador de busseig. La vàlvula de purga se situa en el botó amb forats, sota la marca de CRESSI.



Figura 18: Imatge d'una ampolla de busseig



Figura 19: Imatge d'un vestit de buceig



Figura 20: Imatge d'un "Jacket" de buceig.

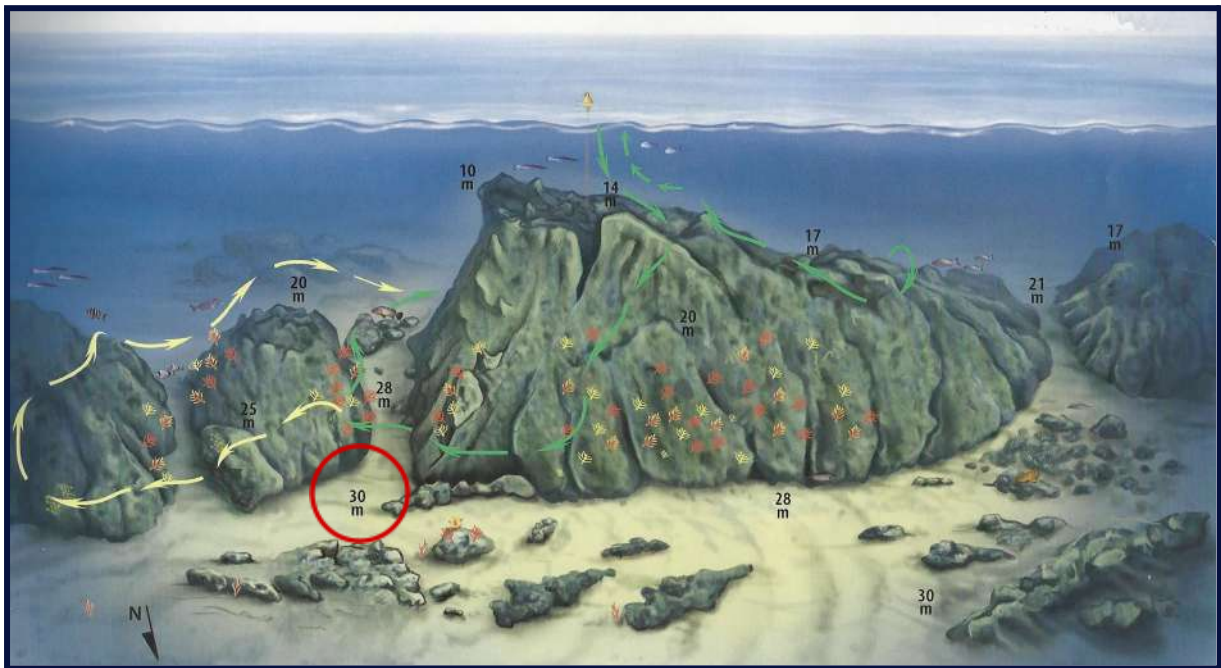


Figura 21: Ullastres, localització de les immersions del marc pràctic. Ens vam situar on marca el cercle vermell, als 30 metres de fondària.