

Quin és el transport públic més perillós sota el microscopi?

Estudi i anàlisi dels microorganismes presents al transport públic de Barcelona.



Alumnes: Adrià Arredondo Sánchez, Alba Juni Blasco, David Masdeu Vall, Daniel Varona Blanco

Tutores: Cristina Caballero, Marta Mallafré

Curs: 2024/26

Treball de recerca de Batxillerat

Escola Pia Sarrià-Calassanç

Resum

Arran de la pandèmia de la COVID-19, la societat ha pres una major consciència sobre el paper de la higiene en la prevenció de malalties i infeccions. Aquest projecte sorgeix de l'interès per determinar fins a quin punt un espai quotidià com ho és el transport públic pot actuar com a focus de bacteris i quines mesures poden implementar-se per reduir-ne la presència.

L'objectiu principal proposa la quantificació dels bacteris presents en diferents mitjans de transport ferroviari de Barcelona —ferrocarrils, metro i tramvia— i analitzar la diversitat de les colònies bacterianes per determinar quin dels transports presenta un nivell més alt de brutícia superficial. Per dur-ho a terme, s'han recollit mostres de diversos punts de contacte —baranes, botons, seients i terres— que posteriorment s'han cultivat en un medi nutritiu per observar el creixement i morfologia dels bacteris. Paral·lelament, s'ha investigat un mètode de desinfecció antibacterià amb l'objectiu de reduir la presència d'aquests microorganismes a les superfícies estudiades.

Els resultats obtinguts han permès avaluar l'efectivitat dels protocols d'higienització dels diferents transports públics analitzats, així com realitzar una classificació morfològica bàsica dels bacteris detectats i valorar l'eficàcia de la nostra proposta desinfectant en comparació amb els mètodes emprats actualment.

Abstract

As a result of the COVID-19 pandemic, society has become increasingly aware of the importance of hygiene in preventing diseases and infections. This project stems from the interest in determining to what extent a daily environment such as public transport can act as a source of bacteria and which measures could be implemented to reduce their presence.

The main objective is to quantify the bacteria present in the different means of rail transport in Barcelona, that is, train, metro, and tram, and to analyze the diversity of bacterial colonies in order to determine which of these shows a higher level of surface dirtiness. To achieve this, samples were collected from various contact points —handrails, buttons, seats, and floors— and subsequently cultivated in a nutrient medium to observe bacterial growth and morphology. Concurrently, an antibacterial disinfection method was explored with the aim of reducing the presence of these microorganisms on the sampled surfaces.

The results obtained made it possible to assess the effectiveness of the sanitization protocols used in the different public transport systems. Additionally, a basic morphological classification of the bacteria detected in the samples was carried out, along with an evaluation of the effectiveness of the proposed disinfectant in comparison with the methods currently in use.

Paraules clau

- Transport públic
- Neteja
- Bacteri
- Patogenicitat
- Radiació UV-C

Keywords

- Public transport
- Cleanliness
- Bacteria
- Pathogenicity
- UV-C radiation

Índex

1. Introducció.....	1
1.1. Presentació del tema.....	1
1.2. Objectius.....	2
1.3. Hipòtesis.....	2
1.4. Metodologia.....	3
1.5. Contingut.....	15
1.6. Presentació de les fonts.....	16
2. Cos.....	17
2.1. Marc Teòric.....	17
2.1.1. Microbiologia bàsica.....	17
2.1.2. Tinció de Gram.....	19
2.1.3. Llum UV-C.....	20
2.2. Fonamentació legal.....	22
2.3. Síntesi dels resultats obtinguts.....	24
2.3.1. Resultats de la tinció de Gram.....	24
2.3.2. Recompte de colònies.....	30
2.3.3. Resultats de les mostres sotmeses a llum UV-C.....	32
3. Conclusions.....	34
3.1. Resposta a la pregunta inicial.....	34
3.2. Grau d'assoliment dels objectius.....	35
3.3. Valoració dels resultats obtinguts.....	35
3.4. Limitacions.....	38
3.5. Propostes de millora.....	39
3.6. Línies de futur.....	40
4. Fonts.....	41
5. Annex.....	44
5.1. Patogenicitat bacteriana.....	44
5.2. Metodologia UV-C.....	50
5.2.1. Metodologia.....	50
5.2.2. Marc teòric.....	52
5.2.3. Resultats.....	53
5.3. Elaboració d'una superfície antibacteriana.....	55
6. Agraïments.....	60

1. Introducció

1.1. Presentació del tema

La pandèmia de la COVID-19 va significar un canvi en la forma d'entendre la higiene en les zones compartides de la nostra ciutat, especialment en el transport públic. El nostre propòsit neix amb l'objectiu de continuar reflexionant sobre la higiene en el transport públic i millorar la situació actual a través d'adoptar solucions innovadores.

Aquest TdR busca complir amb els objectius proposats per l'Agenda 2030 en l'ODS 3 sobre la salut i el benestar de la ciutadania mitjançant la implementació de mesures enfocades a prevenir la transmissió de malalties en el transport públic de la ciutat. Assolir aquesta fita ajudaria a reduir la dedicació de la sanitat pública i privada en aquest punt i permetria concentrar els recursos en altres àmbits més crítics de la salut.

El treball es fonamenta en el mètode científic, és a dir, s'han seguit les passes segons defineix aquesta teoria. Fer recerca, assegurar una correcta realització de la feina de laboratori i obtenir resultats fiables i contrastables són aspectes indispensables per a assolir un projecte de màxim rigor.

L'eix vertebrador del treball és la presa de mostres en diferents superfícies de contacte dels principals mitjans de transport públic ferroviari de Barcelona (ferrocarril, metro i tramvia). Els bacteris han estat seleccionats com a microorganismes d'estudi principal, atesa la seva presència habitual i la facilitat amb què poden ser analitzats, classificats, quantificats i comparats amb precisió. Aquesta feina de laboratori, juntament amb la investigació de les variables que afavoreixen una major presència i proliferació dels bacteris, han permès valorar la higiene de cadascun dels transports estudiats i trobar el camí per a l'elaboració d'un producte final capaç d'eliminar els impactes derivats.

La proposta inicial té l'objectiu de prevenir la presència de bacteris al transport públic. No obstant això, les dificultats trobades no van permetre desenvolupar-la segons havia estat ideada en primera instància. Com a resultat, s'ha treballat en una solució complementària a la proposta inicial, planejades per a ser combinades quan sigui possible assolir-ne la primària. El producte definitiu, que ha estat basat en la recerca científica i la supervisió d'especialistes en el camp de la investigació, busca prioritzar l'eficiència en els àmbits sanitari, econòmic i ambiental.

1.2. Objectius

Els objectius que ens hem proposat assolir en aquest treball són els següents:

- Identificar, classificar, quantificar i comparar els bacteris trobats al transport públic ferroviari de Barcelona.
- Determinar quin transport públic presenta una millor i una pitjor higiene a partir de l'anàlisi dels bacteris presents.
- Desenvolupar un producte o mecanisme antibacterià capaç de prevenir la presència de bacteris al transport públic ferroviari de Barcelona.

1.3. Hipòtesis

El Treball de Recerca parteix de diverses hipòtesis que es contrastaran un cop finalitzat el procés experimental. A continuació, es presenten les diferents hipòtesis que orienten la recerca:

- Potser la quantitat de bacteris augmenta al llarg del dia, de manera que les mostres preses a l'últim torn de la jornada donaran lloc a un major nombre de colònies que les del primer torn.
- Potser la localització geogràfica de les línies de transport no influeix significativament en la quantitat de bacteris presents a causa del desplaçament de ciutadans de totes les zones de la ciutat.
- Potser desenvolupar un producte o mecanisme antibacterià aplicable a les superfícies dels vehicles pot eliminar la presència de bacteris en el transport públic.

1.4. Metodologia

Per tal d'assolir els objectius marcats i comprovar la veracitat de les hipòtesis plantejades s'ha seguit el següent procediment:

Part I - Fonamentació del treball

- I. Selecció dels mitjans de transport per a la realització de l'estudi i contacte amb les empreses responsables per obtenir informació sobre els protocols de neteja:

- **Trambaix UTE** (avinguda de Barcelona, Sant de Joan d'Espí), reconegut com a **TRAM**:

Els treballs de neteja es porten a terme en horari nocturn (23 h a 4 h) a cotxeres. Existeixen tres nivells d'higienització segons la freqüència d'aplicació del protocol de neteja:

- Nivell 1: neteja diària (365 dies de l'any). La passen els tramvies que hagin circulat aquell dia.
- Nivell 2: neteja mensual. Tota la flota passa per aquest nivell.
- Nivell 3: engloba el nivell 2 i una neteja manual de l'exterior i dels sostres del vehicle. Tota la flota passa per aquesta neteja trimestralment.

TRAM no disposa de dates fixes per a les neteges de nivell 2 i 3. Es porten a terme quan l'equip ho troba pertinent durant el període de temps establert.

A la figura 1.4.1 es mostra una imatge de l'interior d'un comboi de TRAM.



Figura 1.4.1: interior d'un comboi de TRAM. Biosphere S.L.

- **Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya** (Carrer Vergós, Barcelona), reconegut com a **FGC**:

Els treballs de neteja es porten a terme a Rubí un cop acabada la jornada (durant la nit). Sempre es netegen tots els trens, excepte en casos extraordinaris. Segons el criteri de l'equip de neteja, es porta a terme una neteja bàsica o a fons de l'interior. L'exterior es renta amb un túnel de rentatge de forma puntual.

A la figura 1.4.2 es mostra una imatge de l'interior d'un comboi d'FGC.



Figura 1.4.2: interior d'un comboi d'FGC. Trens.cat. Bernat Borràs. 2014.

- **Transport Metropolità de Barcelona** (Carrer núm. 60, Barcelona), reconegut com a **TMB**:

Els treballs de neteja es porten a terme diàriament, segons indica la normativa derivada de la pandèmia de la COVID-19. La desinfecció es fa primordialment de totes les superfícies tocades o manipulades amb les mans (barres, seients, portes i polsadors, cabina de conducció, etc.) fent ús d'una dissolució d'aigua amb lleixiu. Les tasques es realitzen de forma manual i seguint els següents criteris:

- De net a brut.
- De dalt a baix.
- De l'interior a l'exterior.

Els vehicles de la flota també són netejats abans de passar qualsevol revisió o control de qualitat.

A la figura 1.4.3 es mostra una imatge de l'interior d'un comboi de TMB.



Figura 1.4.3: interior d'un comboi de TMB. MARGON.

- II. Definició de les variables segons dicta el mètode científic a partir de la informació sobre els protocols d'higienització. Només es pren en consideració les neteges diàries, ja que cap de les empreses disposa de dates establertes per a les tasques de neteja addicionals: mensual, trimestral i prèvia a revisió:
- Variable independent: temps des de l'última neteja (mostreig del primer i últim comboi).
 - Variable dependent: quantitat de colònies en el cultiu.
 - Variables controlades: condicions climàtiques (temperatura, humitat, precipitacions...) i tipus de via (exterior o subterrània; només en el cas dels ferrocarrils).
- III. Documentació sobre els mètodes de recollida i anàlisi de mostres mitjançant fonts científiques fiables (1) i amb l'ajuda de docents del centre (2).

*(1): [3] [4] [12] [16]

*(2): Imma Ariño, Marta Martí i Pol Cabrera.

Part II - Recollida, sembra i anàlisi de mostres

- I. Determinació de les línies a estudiar en cadascun dels mitjans de transport basat en variables definides:

- Tramvia:

Línies amb ruta exterior

- T1 (de Francesc Macià a Bon Viatge).
- T2 (de Francesc Macià a Llevant - Les Planes).
- T3 (de Francesc Macià a Sant Feliu | Consell Comarcal).

A la figura 1.4.4 es mostren les rutes de les línies T1, T2 i T3.



Figura 1.4.4: rutes de les línies T1, T2 i T3 de TRAM. TrensCAT.cat. 2021.

- Ferrocarrils:

Línies amb ruta exterior i subterrània.

- S1 (de Barcelona - Pl. Catalunya a Terrassa Nacions Unides).
- S2 (de Barcelona - Pl. Catalunya a Sabadell Parc del Nord).
- L6 (de Barcelona - Pl. Catalunya a Sarrià).

Línies amb ruta subterrània

- L7 (de Barcelona - Pl. Catalunya a Avinguda Tibidabo).

A la figura 1.4.5 es mostren les rutes de les línies S1, S2, L6 i L7.



Figura 1.4.5: rutes de les línies S1, S2, L6 i L7 d'FGC. Trenscat.cat.

■ Metro:

Línia amb ruta subterrània

- L3 (de Zona Universitària a Trinitat Nova).

A la figura 1.4.6 es mostra la ruta de la línia L3.



Figura 1.4.6: ruta de la línia L3 de TMB. TMB.cat.

- II. Selecció dels espais de mostreig basat en les variables definides: terra, barana, seient i botó de la porta.
- III. Recull de mostres en el primer i últim comboi de la jornada.
 - Es frega la superfície de mostreig fent moviments rotatoris amb un hisop estèril i, posteriorment, se segella per preservar la mostra.

IV. Sembra de les mostres.

- Les mostres recollides s'identifiquen en el medi de cultiu com a diürnes o nocturnes, segons el torn de la jornada en què s'ha pres la mostra. També s'identifiquen segons la superfície mostrejada:

- | | |
|-----------|---------------------|
| 1. barana | 3. botó de la porta |
| 2. seient | 4. terra |

A la figura 1.4.7 es mostra un exemple de la distribució en un medi de cultiu.



Figura 1.4.7: distribució de la sembra bacteriana en un medi de cultiu.

- V. Preparació de tres rèpliques diürnes i tres rèpliques nocturnes de cadascun dels transports estudiats.
- VI. Incubació de les plaques de petri a una estufa a 37 °C entre 48 i 72 hores.
- VII. Realització del recompte colonial dels medis de cultiu i enregistrament dels resultats en una taula de valors.

VIII. Repetició del procés de mostreig i sembra bacteriana en sis medis de cultiu diferents. Aquest conjunt de mostres forma part de la fase experimental destinada a identificar i classificar bacteris, així com a valorar la presència de patògens. Per dur a terme l'anàlisi, s'utilitza la tècnica de la tinció de Gram. L'ús de sis cultius permet reduir l'efecte de l'atzar i obtenir resultats més fiables, ja que actuen com a rèpliques experimentals. A continuació, es detallen els estris, substàncies i procediment:

Estris

- Agulla emmanegada
- Cobreobjectes
- Cultiu bacterià
- Llantió o Bunsen (font de calor)
- Nansa de sembra o escuradents
- Pipetes Pasteur
- Plaques de petri
- Portaobjectes
- Vas de precipitats

Substàncies

- Aigua destil·lada
- Alcohol etílic
- Cristall violeta
- Reactiu lugol
- Safranina

Procediment

1. Prendre una mostra d'una colònia bacteriana i estendre-la uniformement sobre un portaobjectes amb l'ajuda d'una nansa de sembra o escuradents (esterilitzada prèviament amb una font de calor). Com s'observa a la figura 1.4.8.
2. Afegir una gota d'aigua destil·lada sobre el portaobjectes i escampar la mostra.
3. Deixar assecar la mostra a l'aire o fixar-la fent ús d'una font de calor. Com s'observa a la figura 1.4.9.
4. Introduir el portaobjectes en el colorant cristall violeta i mantenir-lo submergit durant 60 segons.
5. Retirar el portaobjectes del cristall violeta i eliminar l'excés de colorant amb aigua destil·lada amb l'ajuda d'una pipeta Pasteur. Com s'observa a la figura 1.4.10.
6. Introduir el portaobjectes en el reactiu lugol i mantenir-lo submergit durant 60 segons. Com s'observa a la figura 1.4.11.
7. Retirar el portaobjectes del reactiu lugol i eliminar l'excés de reactiu lugol amb aigua destil·lada amb l'ajuda d'una pipeta Pasteur.
8. Afegir un dissolvent (alcohol etílic) sobre el portaobjectes amb l'ajuda d'una pipeta Pasteur. Com s'observa a la figura 1.4.12.
9. Introduir el portaobjectes en el colorant safranina i mantenir-lo submergit durant 30 segons. Com s'observa a la figura 1.4.13.
10. Retirar el portaobjectes de la safranina i eliminar l'excés de colorant amb aigua destil·lada amb l'ajuda d'una pipeta Pasteur.
11. Deixar assecar la mostra a l'aire.
12. Col·locar un cobreobjectes sobre la zona on s'ha estès la mostra amb l'ajuda d'una agulla emmanegada. Com s'observa a la figura 1.4.14.
13. Observar la mostra amb un microscopi òptic. [3] [4] [16]



Figura 1.4.8: instrucció núm. 1 del procediment de tinció de Gram.



Figura 1.4.9: instrucció núm. 3 del procediment de tinció de Gram.



Figura 1.4.10: instrucció núm. 5 del procediment de tinció de Gram.



Figura 1.4.11: instrucció núm. 6 del procediment de tinció de Gram.



Figura 1.4.12: instrucció núm. 8 del procediment de tinció de Gram.



Figura 1.4.13: instrucció núm. 9 del procediment de tinció de Gram.

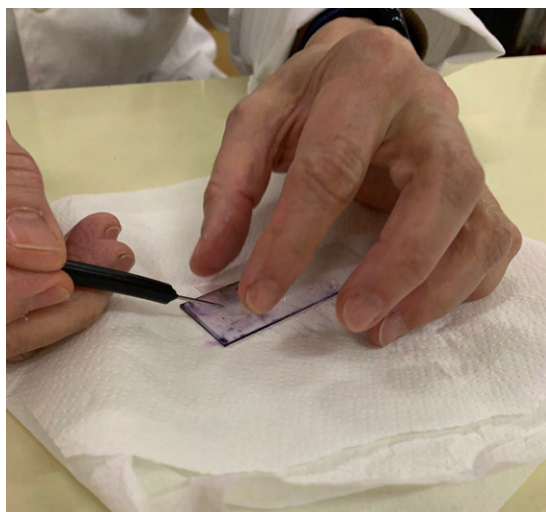


Figura 1.4.14: instrucció núm. 12 del procediment de tinció de Gram.

IX. Enregistrament dels resultats de les proves de tinció a una taula.

Part III - Elaboració del producte final

La radiació UV-C és una tècnica que presenta facilitat per combinar-se amb altres solucions. No només constitueix una alternativa efectiva per a afrontar la problemàtica higiènica actual, sinó que manté oberta la possibilitat d'integrar-se com un complement de la proposta inicial —una rèplica de la pell de tauró com a superfície antiadherent de bacteris— un cop sigui viable la seva producció (Per a més informació sobre l'estudi de la proposta inicial, consulteu l'apartat 5.3 de l'annex). La ideació i posada a prova del producte consisteix en les següents etapes:

- I.** Documentació sobre les propietats antibacterianes de la radiació UV-C a fonts fiables (3).
- II.** Obtenció del producte amb les característiques desitjades per a l'objectiu de l'estudi.
- III.** Posar a prova la proposta segons dicta el mètode científic.

*(3): [6] [10] [11]

Per al compliment del tercer punt es van elaborar dues metodologies independents. En aquest apartat s'exposa la metodologia amb què s'obtingueren dades més sòlides, que han permès definir unes conclusions basades en l'estudi teòric prèviament realitzat (Per a més informació sobre la metodologia alternativa, consulteu l'apartat 5.2 de l'annex). A continuació, es detalla el procediment adoptat:

Estris

- Contenidor folrat amb paper d'alumini
- Guants
- Hisops estèrils
- Làmpada UV-C de 254 nm
- Llantió o Bunsen
- Plaques de petri amb medi de cultiu (agar-agar)
- Temporitzador

Procediment

Preparació de les mostres

1. Mostrejar quatre hisops estèrils en una mateixa superfície d'un comboi de qualsevol dels transports estudiats.
2. Inocular les mostres bacterianes a quatre medis de cultiu diferents.
3. Incubar les plaques a 37 °C durant un mínim de 48-72 hores.

Aplicació del tractament

4. Fotografiar els cultius bacterians abans del tractament per mantenir un registre de les colònies crescudes.
5. Esterilitzar l'interior del contenidor amb un llantió o Bunsen.
6. Introduir tres cultius oberts al contenidor (grup experimental) i mantenir-ne un fora (grup de control)
7. Col·locar la làmpada UV-C a 5-10 cm dels cultius.
8. Exposar els tres cultius a la radiació UV-C durant períodes de 5, 10 i 15 minuts (cada període de temps correspon a un cultiu diferent).

Anàlisi dels resultats

9. Incubar les plaques tractades i no tractades durant un mínim de 48-72 hores.
10. Fotografiar els cultius bacterians després del tractament.
11. Observar i anotar qualsevol canvi provocat per l'exposició a la radiació UV-C.

1.5. Contingut

L'informe es divideix en els següents apartats:

- **Cos.**
 - **Marc teòric.** Presentació dels conceptes i disciplines necessaris per al desenvolupament i enteniment del treball.
 - **Fonamentació legal.** Descripció de les lleis i normatives que regulen i legitimen el tema tractat.
 - **Síntesi dels resultats obtinguts.** Exposició dels resultats obtinguts en els assaigs del treball.
- **Conclusions.**
 - **Resposta a la pregunta inicial.** Resposta a la pregunta vertebradora del treball.
 - **Grau d'assoliment dels objectius.** Avaluació dels objectius plantejats a l'inici del projecte.
 - **Valoració dels resultats.** Interpretació dels resultats obtinguts en els assajos realitzats.
 - **Limitacions.** Exposició de les dificultats, errors i condicionants.
 - **Propostes de millora.** Recull d'idees per a rectificar els problemes sorgits durant el treball.
 - **Línies de futur.** Secció on s'exposen possibles vies de continuació de la recerca.
- **Fonts.** Citacions de les fonts consultades.
- **Annex.** Apartat on s'inclouen continguts addicionals rellevants.

1.6. Presentació de les fonts

La realització d'aquest treball ha requerit una recerca exhaustiva d'articles científics i periodístics, documents i pàgines web de caràcter científic que proporcionessin la informació i dades necessàries per garantir l'enteniment i assoliment de l'apartat pràctic i analític de l'estudi.

Per una banda, per determinar amb precisió el protocol i la freqüència de neteja de cada tipus de transport ferroviari, ha estat imprescindible establir contacte directe amb les empreses responsables dels serveis analitzats, ja que aquesta informació no es troba disponible en el domini públic i pot dependre d'entitats externes. A més a més, amb l'objectiu d'informar-se sobre la normativa relativa a la neteja dels combois i els materials legals susceptibles d'implementar-se com a producte final del projecte, s'ha dut a terme la consulta de certificats oficials, contractes de programa i portals web de caràcter jurídic.

Per a l'elaboració de la metodologia i del marc teòric, s'han utilitzat fonts de contrastada fiabilitat, com ara fitxes i presentacions elaborades pel professorat del departament de Biologia del centre, així com articles i estudis científics especialitzats.

Finalment, per a la generació d'idees vinculades al producte final, s'han consultat publicacions periodístiques, articles i estudis sobre solucions antibacterianes innovadores.

2. Cos

2.1. Marc Teòric

Per tal d'assolir els objectius, s'ha plantejat una recerca d'informació basada en la microbiologia. El marc teòric busca proposar els assajos que guiaran el treball i respondre als seus resultats. Així doncs, hem considerat oportú documentar-nos en les següents disciplines:

2.1.1. Microbiologia bàsica

Els microorganismes són éssers vius microscòpics i de gran simplicitat estructural que disposen de la capacitat per a exercir totes les funcions vitals. Aquestes formes de vida es poden classificar en tres regnes diferents: les moneres, els protists i protoctists, i els fongs. Mentre que els bacteris, que formen part del regne de les moneres, es consideren microbis, no tots els protists, protoctists i fongs entren en aquest grup.

Els bacteris són unicel·lulars i presenten una organització cel·lular procariota, i es poden classificar seguint diversos criteris. Per al treball de camp, és necessari conèixer la classificació en funció de la morfologia i de l'estructura de la paret bacteriana.

Segons la morfologia, els bacteris poden classificar-se en quatre tipus: cocs, bacils, espirils i vibrions. Els cocs, de forma esfèrica, s'agrupen depenent de la direcció de la divisió cel·lular: diplococs (parelles), estreptococs (cadena), estafilococs (grups irregulars en forma de raïm) i sarcines (grups cúbics o tridimensionals). Els bacils, amb forma de bastó, formen cadenes lineals de dues (diplobacils) o més unitats (estreptobacils). Els espirils (forma de bastó ondulat) i els vibrions (forma de coma ortogràfica) no acostumen a formar agrupacions regulars. A la figura 2.1.1.1 es poden observar les diferències morfològiques.

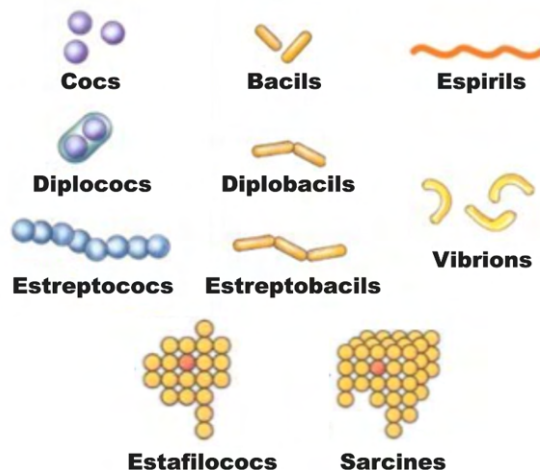


Figura 2.1.1.1: classificació bacteriana segons la morfologia. Blog de Morfología microscópica. 2020. Blog Selectivitat Biologia. Imatge editada.

Segons l'estructura de la paret bacteriana, poden classificar-se en dos tipus: grampositius i gramnegatius. Els bacteris grampositius presenten una paret bacteriana monoestratificada i es tenyeixen de color blau en la tinció de Gram. Els bacteris gramnegatius presenten una paret bacteriana biestratificada i es tenyeixen de color rosa en la tinció de Gram.

La gran diversitat metabòlica dels bacteris és el motiu pel qual poden habitar en una gran varietat d'entorns, fins i tot en condicions extremes. El transport públic és un espai de fàcil supervivència pels bacteris a causa de les condicions hospitalàries. Tanmateix, el creixement bacterià no és favorable, ja que les superfícies del transport públic no disposen de nutrients dels quals es puguin nodrir els bacteris, excepte d'alguns residus microscòpics. Per resistir durant més temps, alguns bacteris poden entrar en períodes de metabolisme reduït, la qual cosa els fa més resistents a mètodes d'inactivació. [12]

La patogenicitat és la capacitat d'un microorganisme per provocar una malaltia o infecció en l'ésser viu infectat. Els bacteris poden classificar-se en patògens i no-patògens seguint aquest criteri. La patogenicitat dels bacteris depèn de diverses característiques, com la capacitat d'adherir-se a cèl·lules, d'envair teixits, de produir toxines i de resistir les respostes immunitàries de l'hoste. Els bacteris gramnegatius solen ser més patògens que els grampositius a causa d'una major presència de fimbries. Aquestes estructures en forma de pèls permeten la fixació a les membranes mucoses de l'hoste, augmentant la capacitat patògena (Per a més informació sobre els bacteris patògens, consulteu l'apartat 5.1 de l'annex). [5]

En el transport públic, la propagació es dona per via aèria (a través d'inhalar partícules contaminades) i per contacte indirecte amb boca, nas o ulls després de tocar superfícies que presentin bacteris. [20]

2.1.2. Tinció de Gram

La tinció de Gram és un mètode fonamental en el procés d'identificació i classificació bacteriana en l'àmbit de la microbiologia i la medicina. La tècnica va ser creada pel microbiòleg danès Hans Christian Joachim Gram en el seu estudi de corpuscles vermells. La tinció bacteriana ve definida per les diferències en l'estructura i composició de la paret bacteriana.

El procediment implica quatre substàncies: cristall violeta, reactiu de Lugol, alcohol etílic i safranina. El cristall violeta penetra a la paret bacteriana i, amb el Lugol, queda fixat al peptidoglicà. L'alcohol allibera el colorant dels bacteris gramnegatius, però no dels grampositius, que el retenen gràcies a la seva paret gruixuda. Finalment, la safranina tenyirà només els gramnegatius. Així, es diferencien en grampositius (blaus o morats) i gramnegatius (rosats), com es pot observar a la figura 2.1.2.1. [3] [4]

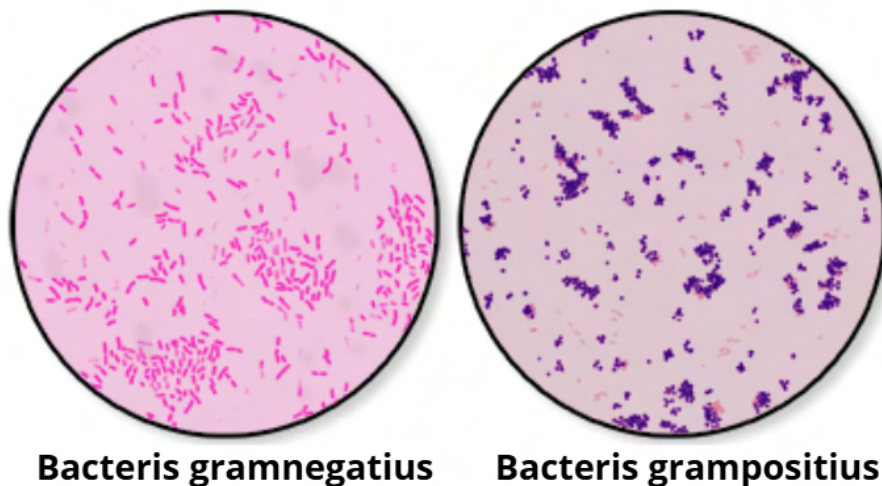


Figura 2.1.2.1: Bacteris grampositius i gramnegatius sota el microscopi.

Medline Plus. 2024. Imatge editada.

Els bacteris grampositius presenten una paret bacteriana formada per una única capa gruixuda de peptidoglicà, que s'adhereix a la membrana plasmàtica cel·lular mitjançant enllaços d'àcid lipoteicòic travessats. Les diferents làmines de peptidoglicà que formen la paret cel·lular permeten la retenció del cristall violeta, el colorant que tenyeix el bacteri de

color blau o morat. Els bacteris gramnegatius tenen una paret bacteriana biestratificada, formada per una fina capa de peptidoglicà unida a una membrana fosfolipídica externa semblant a la membrana plasmàtica cel·lular mitjançant lipoproteïnes. La fina capa de peptidoglicà no és capaç de retenir el cristall violeta i els bacteris adquireixen un color rosat a causa del colorant safranina. Les diferències en les seves parets bacterianes s'observen a la figura 2.1.2.2. [12]

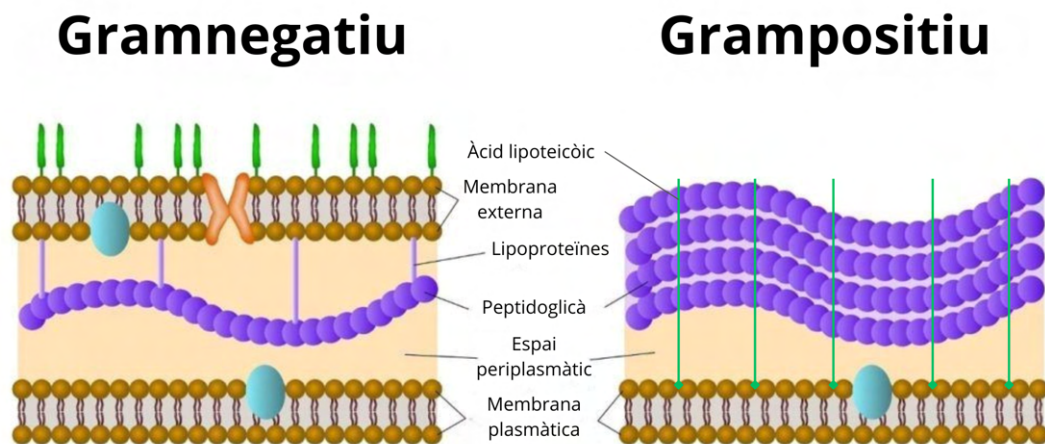


Figura 2.1.2.2: estructura de la paret cel·lular gramnegativa i grampositiva. Designua. 2014.
Imatge editada.

2.1.3. Llum UV-C

L'estudi d'investigació realitzat per l'Agència d'Avaluació de Tecnologies Sanitàries de l'ISCIH en el marc del finançament del Ministeri de Sanitat pel desenvolupament de les activitats del Pla anual de treball de la Xarxa Espanyola d'Agències d'Avaluació de Tecnologies Sanitàries i Prestacions del SNS determina la radiació ultraviolada com una solució eficaç per mitigar la proliferació de microorganismes. [10]

Els rajos ultraviolats són un tipus de radiació electromagnètica que pot ser utilitzada com a desinfectant de superfícies. La llum ultraviolada es classifica en tres classes segons la seva longitud d'ona, però únicament la llum UV-C és capaç d'actuar eficaçment contra bacteris. La causa d'això rau en el fet que aquests microorganismes són sensibles a longituds properes a 253,7 nm, i la llum UV-C treballa en una longitud d'ona d'entre 100 i 280 nm. La radiació UV-C més utilitzada sol ser aquella de 254 nm. A la figura 2.1.3.1 s'observen les longituds d'ona de cadascun dels tipus de radiació ultraviolada.

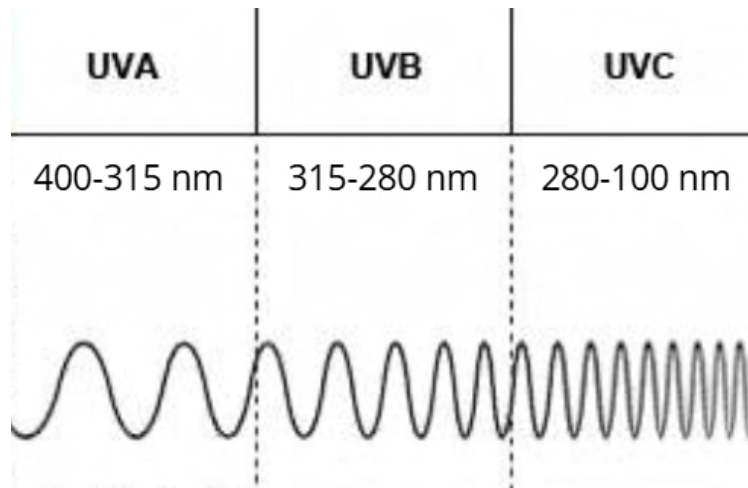


Figura 2.1.3.1: diferència entre les longituds d'ona de les radiacions UV-A, UV-B i UV-C. UVFAB. Imatge editada.

Atès que la llum ultraviolada és un agent mutagen físic, el seu funcionament consisteix a fer malbé el material genètic de microorganismes a través de la formació de dímers de pirimidina. Els dímers de pirimidina són mutacions que impedeixen la correcta duplicació de l'ADN i, per tant, els microorganismes no poden reproduir-se i acaben morint. A la figura 2.1.3.2 s'observa la formació d'un dímer de pirimidina causat per l'absorció de fotons UV. [10] [22]

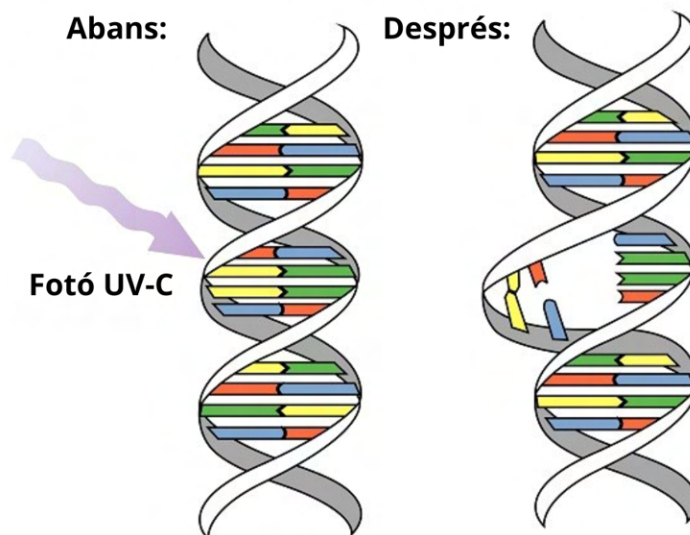


Figura 2.1.3.2: dímer de pirimidina format per l'absorció de radiació UV-C. Uruguay Educa. 2017. Imatge editada.

Les mutacions són canvis hereditaris i atzarosos deguts a alteracions en la seqüència de nucleòtids. Les mutacions sobre els bacteris produïdes per l'absorció de fotons UV provoquen una sèrie de canvis visuals. En la majoria dels casos, els efectes de la llum UV són letals i, per tant, l'observació més comuna és una reducció en la ràtio de formació de colònies bacterianes després de l'exposició. Els canvis de coloració de les colònies bacterianes és una conseqüència atípica, ja que el color o la brillantor no només requereix exposició a llum, sinó també gens específics i organització cel·lular. Perquè es pugui observar un canvi de pigment a una colònia, aquesta hauria de pertànyer a bacteris productors de pigments, com per exemple la *Serratia marcescens*. [6] [11]

2.2. Fonamentació legal

Aquest treball de recerca proposa l'aplicació d'una solució eficient capaç de millorar la higiene del transport públic ferroviari de la ciutat. En aquest sentit, es tenen en compte els textos legals que estableixen la normativa respecte a les mesures higièniques.

El Ministeri de Transports, Mobilitat i Agenda Urbana, en coordinació amb el Ministeri de Sanitat, varen emetre un protocol de neteja per al transport públic. Tot i no ser jurídicament obligatori, el protocol va servir de base per a l'establiment de mesures específiques personalitzades adoptades per cadascuna de les diferents empreses operadores (TRAM, FGC i TMB). [7]

Aquests esdeveniments, derivats de la pandèmia de la COVID-19, van afavorir l'entrada al mercat d'aparells que utilitzen llum UV-C com a element desinfectant. L'Associació Espanyola de Normalització (UNE) és l'organisme encarregat de l'elaboració i adopció de normes tècniques que, tot i no ser lleis, poden esdevenir d'obligat compliment quan són incorporades a la legislació o a plecs de condicions. En aquest context, l'UNE-EN ISO 15858, adoptada directament de la normativa ISO, és un estàndard que regula els requisits de seguretat en relació amb l'exposició a la radiació emesa pels dispositius de desinfecció amb llum UV-C.

Segons l'apartat 5.2 de la norma, el límit diari d'exposició per a la longitud d'ona habitual (254 nm) es fixa en 6 mJ/cm² en un període màxim de 8 hores, equivalent a una jornada laboral a Espanya. Anterior a la utilització d'aquests aparells per part del personal de neteja, la instal·lació i revisió de les làmpades de llum UV-C s'ha de portar a terme de la mà de tècnics especialitzats i equipats amb el material de protecció adequat.

L'apartat 5.3 regula els equips de protecció personal que ha de portar tot treballador que manipuli aquests dispositius. La normativa recomana l'ús de roba opaca (guants, granotes, cascs...) per evitar afeccions cutànies i ulleres especials per protegir els ulls. No obstant això, la norma determina que els equips de protecció personal (EPP) només són obligatoris quan no es poden garantir les mesures de seguretat essencials o els límits d'exposició especificats a l'apartat 5.2.

Finalment, l'apartat 5.4 exigeix la formació dels treballadors del sector en els riscos d'exposició, l'ús correcte dels EPP, protocols de prevenció i seguretat i les mesures de primers auxilis. [19] [21]

Per altra banda, la norma UNE-EN ISO 9001:2015 estableix que les empreses de transport públic de Barcelona (TMB, TRAM i FGC) han de complir controls de qualitat on s'avaluïn aspectes com la satisfacció dels clients, l'ambient de treball, les infraestructures o la neteja de les flotes. Empreses independents com Applus+ Laboratories i Det Norske Veritas són les encarregades de certificar a grups com TMB o FGC. Paral·lelament, l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM) supervisa els serveis i condicions de les tres empreses mitjançant contractes que fixen estàndards de qualitat. El problema rau en el fet que ATM és un dels pilars financers d'aquestes empreses del transport, de manera que es pot crear una incongruència estructural: si es detecta qualsevol deficiència greu, ATM hauria d'assumir els costos de correcció i això podria reduir el nivell d'exigència amb l'objectiu de minimitzar els costos. [1]

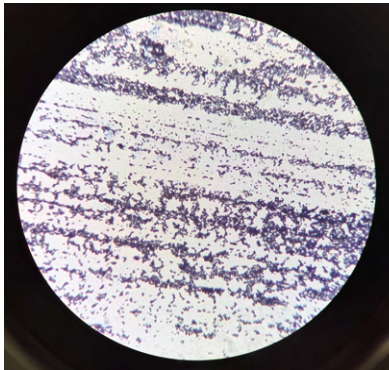
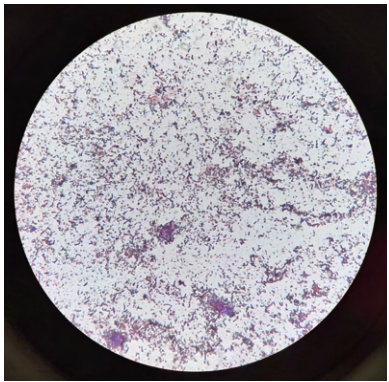
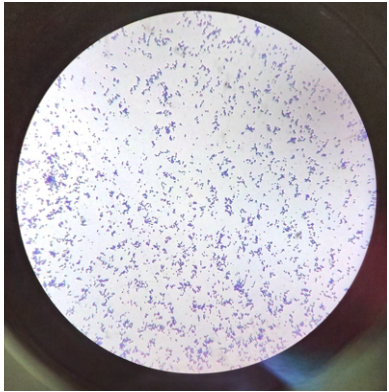
Aquest marc legal compleix amb dues funcions primordials. Per una banda, estableix les bases per a l'anàlisi higiènica dels transports estudiats, tenint en compte les diferències respecte als protocols de neteja. Per altra banda, determina els requisits i especificacions que la nostra proposta de producte final ha de seguir.

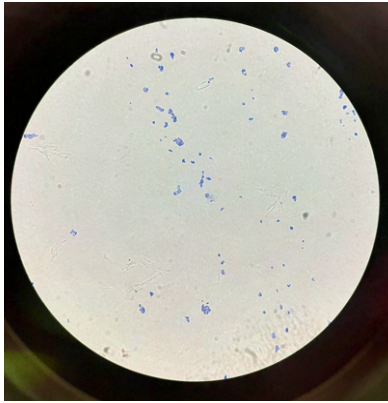
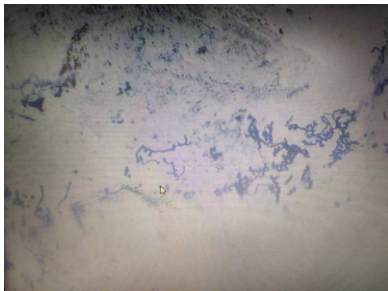
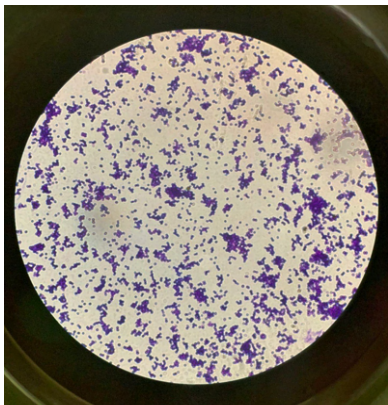
2.3. Síntesi dels resultats obtinguts

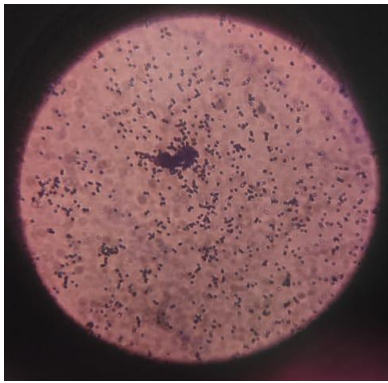
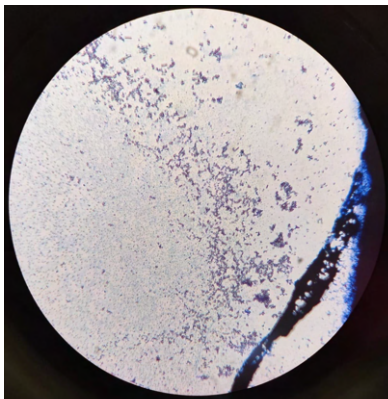
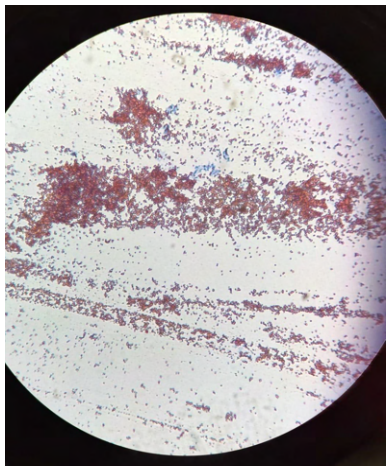
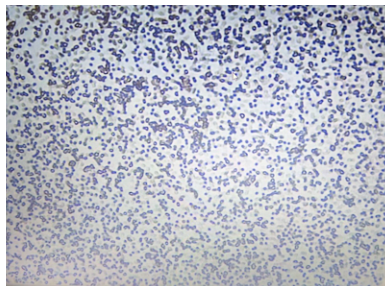
2.3.1. Resultats de la tinció de Gram

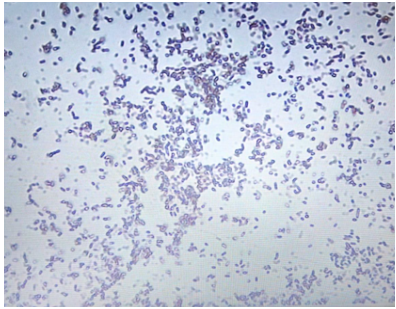
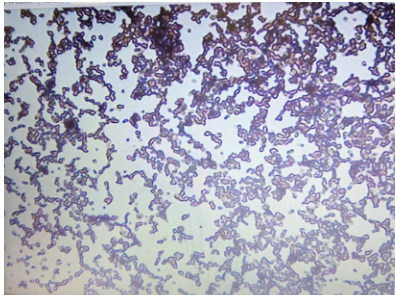
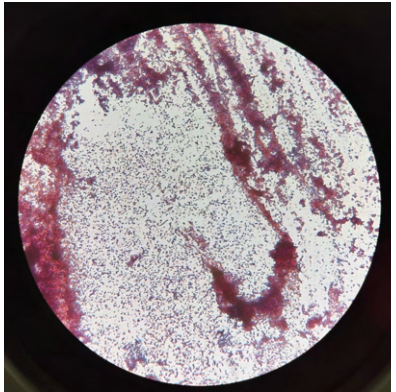
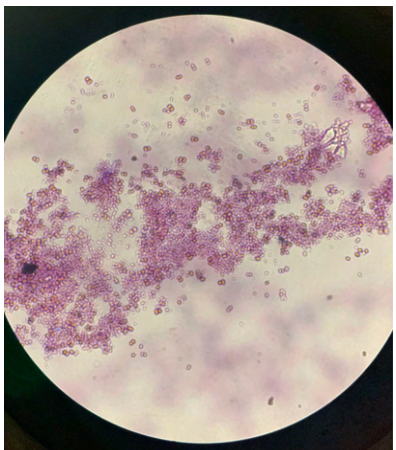
A la taula 2.3.1.1 es poden observar els resultats obtinguts a la tinció de Gram, on queden classificats els bacteris segons el resultat de la tinció i la morfologia.

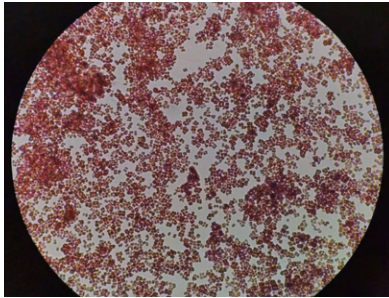
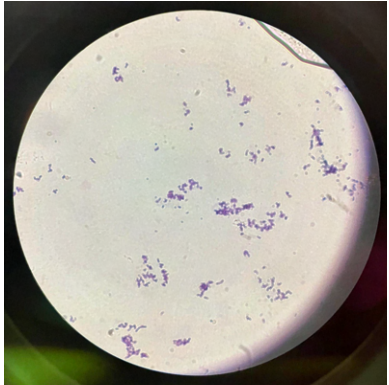
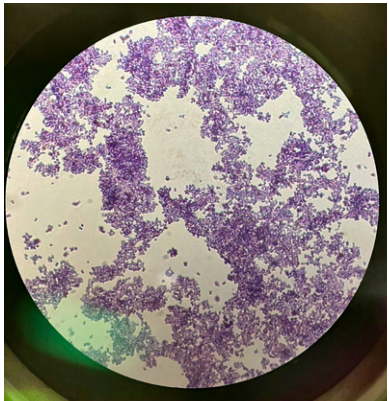
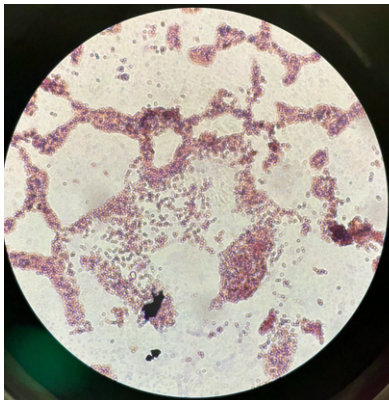
Taula 2.3.1.1: resultats de les proves de tinció de Gram.

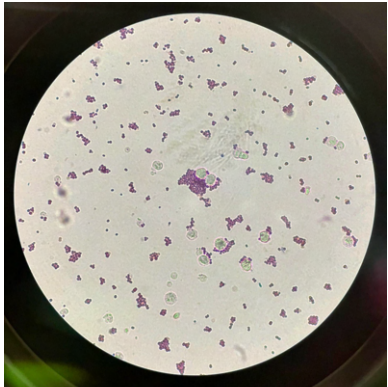
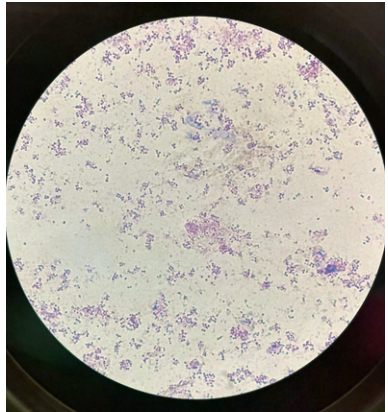
Tinció de Gram				
Color de la colònia	Espai de mostreig	Fotografia	Tinció de Gram	Morfologia bacteriana
Groc	Seient		Grampositiu	Estreptobacils
Blanc	Terra		Grampositiu	Cocs i estreptococs
Taronja	Seient		Grampositiu	Cocs

Groc	Seient		Grampositiu	Estafilococs
Taronja	Terra		Gramnegatiu	Estreptococs
Taronja	Terra		Grampositiu	Estreptobacils
Blanc	Terra		Grampositiu	Estafilococs

Gran taca blanca	Barana		Grampositiu	Cocs i diplococs
Gran taca blanca	Tots excepte terra		Grampositiu	Estreptococs
Groc	Seient		Gramnegatiu	Estafilococs
Petita taca blanca	Terra		Grampositiu	Cocs

Beix	Botó		Grampositiu	Cocs i diplococs
Groc	Seient		Grampositiu	Estreptococs i estafilococs
Marró	Terra		Gramnegatiu	Cocs i estreptococs
Groc	Terra		Gramnegatiu	Estafilococs

Beix	Botó		Gramnegatiu	Estafilococs
Rosa	Terra		Grampositiu	Estafilococs
Groc	Terra		Grampositiu	Estafilococs
Taronja	Seient		Gramnegatiu	Estreptococs i estafilococs

Blanc	Botó		Grampositiu	Estafilococs
Taronja fosc	Terra		Grampositiu	Estafilococs

2.3.2. Recompte de colònies

A les taules 2.3.2.1, 2.3.2.2 i 2.3.2.3 s'enregistren els resultats obtinguts en els assajos de sembra de mostres i recompte d'unitats de colònies crescudes en cadascun dels cultius sembrats.

Taula 2.3.2.1: recompte d'unitats de colònies resultants del mostreig dels combois estudiats.

Grup 1	Tram dia	Tram nit	S1/S2/L6 dia	S1/S2/L6 nit	L7 dia	L7 nit	L3 dia	L3 nit
1 (baranes)	3	9	4	4	2	4	2	4
2 (seients)	5	18	5	4	12	5	4	22
3 (botó)	11	7	3	0	5	3	5	16
4 (terra)	22	11	21	5	27	21	23	25
SUBTOTAL	41	45	33	13	46	33	34	67
Grup 2	Tram dia	Tram nit	S1/S2/L6 dia	S1/S2/L6 nit	L7 dia	L7 nit	L3 dia	L3 nit
1 (baranes)	86	21	9	9	1	-	4	0
2 (seients)	93	53	58	6	20	-	30	5
3 (botó)	9	6	5	7	7	-	15	13
4 (terra)	22	37	22	7	15	-	78	32
SUBTOTAL	210	117	94	29	43	-	127	50
Grup 3	Tram dia	Tram nit	S1/S2/L6 dia	S1/S2/L6 nit	L7 dia	L7 nit	L3 dia	L3 nit
1 (baranes)	15	15	0	1	2	1	2	0
2 (seients)	104	54	1	12	21	15	16	2
3 (botó)	11	21	1	3	43	3	15	15
4 (terra)	32	12	37	20	17	46	5	86
SUBTOTAL	162	102	39	36	83	65	38	103
TOTAL	413	264	166	78	172	98	199	220

Les dades del comboi L7 nit del grup 2 s'han desestimat a causa del creixement d'un únic microorganisme al cultiu, que corresponia a un fong de grans dimensions. Els colors emprats en les caselles del recompte total indiquen el següent:

- Verd: transport amb menys unitats de colònies.
- Vermell: transport amb més unitats de colònies.
- Taronja: transports amb valors intermedis.

A la figura 2.3.2.1 es representa el recull de dades de la taula 2.3.2.1 de forma gràfica.

Quantitat de colònies (unitats de colònies) per transport i torn

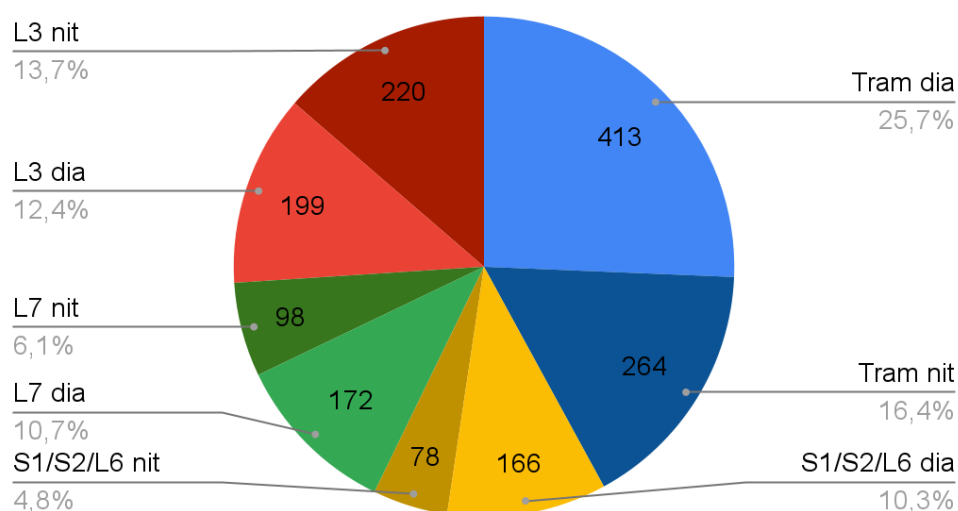


Figura 2.3.2.1: gràfica de quantitat de colònies (unitats de colònies) per transport i torn.

Taula 2.3.2.2: recompte d'unitats de colònies a cada espai de mostreig.

	BARANES	SEIENTS	BOTÓ	TERRA
TOTAL	198	565	224	623
MITJANA/MOSTRA	8,25	23,54	9,33	25,96

A la figura 2.3.2.2 es representa el recull de dades de la taula 2.3.2.2 de forma gràfica.

Quantitat de colònies (unitats de colònies) per espai de mostreig

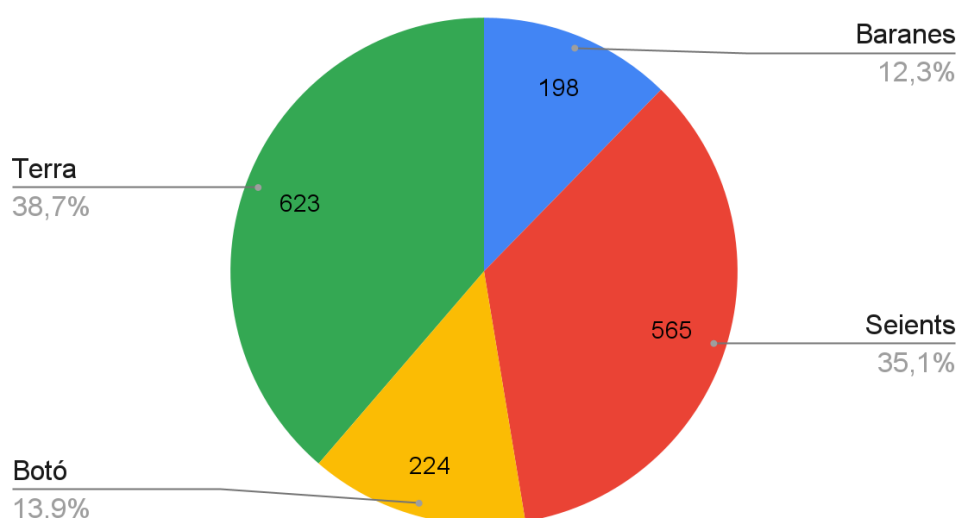


Figura 2.3.2.2: gràfica de quantitat de colònies (unitats de colònies) per espai de mostreig.

Taula 2.3.2.3: recompte d'unitats de colònies segons el torn de la jornada.

	DIA	NIT
TOTAL	950	660
MITJANA/MOSTRA	19,79	15

A la figura 2.3.2.3 es representa el recull de dades de la taula 2.3.2.3 de forma gràfica

Quantitat de colònies (unitats de colònies) per torn de mostreig

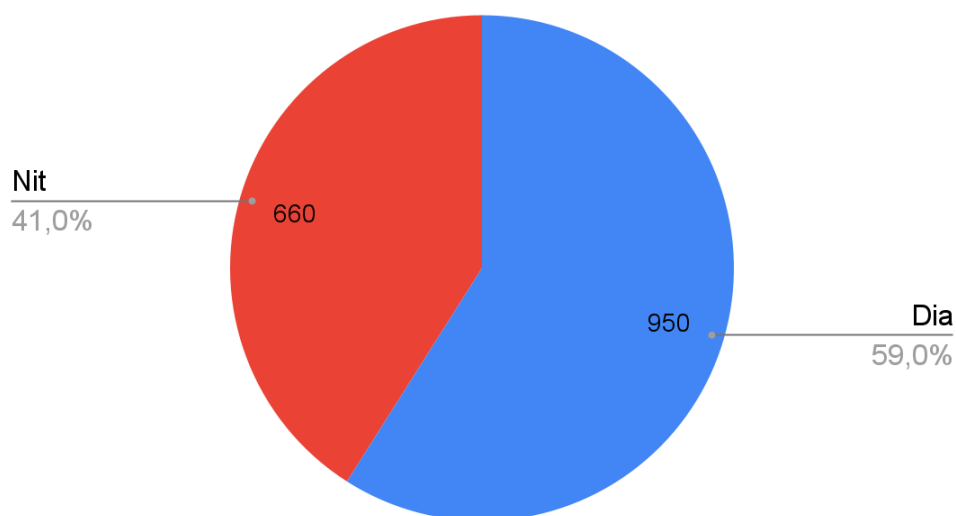
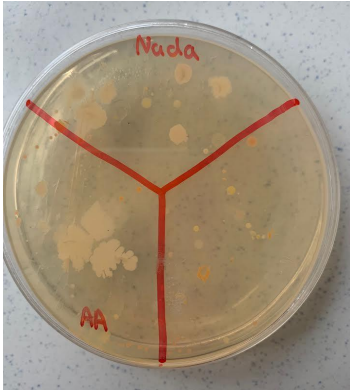
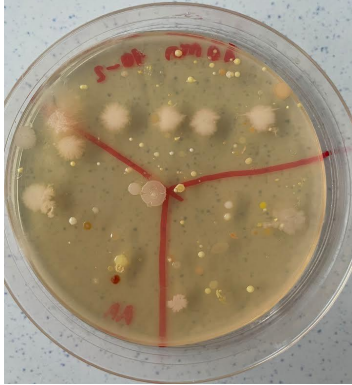
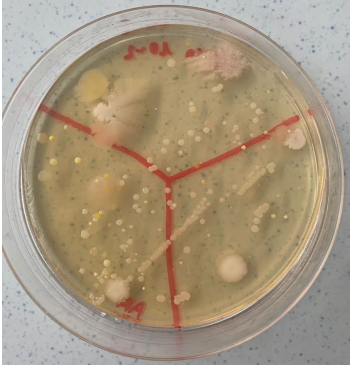


Figura 2.3.2.3: gràfica per quantitat de colònies (unitats de colònies) per torn de mostreig.

2.3.3. Resultats de les mostres sotmeses a llum UV-C

A la taula 2.3.3.1 es poden observar les imatges de l'abans i el després de cada medi de cultiu sembrat amb mostres bacteriològiques segons el temps al qual han estat exposats a la radiació UV-C (0, 5, 10 i 15 minuts):

Taula 2.3.3.1: imatges de l'abans i el després de l'exposició de les colònies a radiació UV-C.

	ABANS UV-C	DESPRÉS UV-C
SENSE EXPOSICIÓ		
5 MINUTS		
10 MINUTS		
15 MINUTS		

3. Conclusions

3.1. Resposta a la pregunta inicial

Gràcies a les tècniques d'anàlisi de bacteris portades a terme durant la fase experimental del treball —la *tinció de Gram* i el *recompte de colònies*— s'ha pogut donar resposta a la pregunta vertebradora del projecte: “quin és el transport públic més perillós sota el microscopi?”

La taula de mostres analitzades per tinció de Gram, a través de la qual apareixen classificats els bacteris segons la morfologia i estructura de la seva paret bacteriana, demostra la presència de cocs, en grau més alt, i bacils, en grau més baix. Les proves, però, no permeten determinar la patogenicitat dels bacteris, per tant, les mostres analitzades no s'han pogut classificar fidelment entre les espècies bacterianes patògenes més comunes de cocs i bacils. Així doncs, la resposta ha estat limitada a la deducció que el transport amb una major quantitat de colònies serà, alhora, aquell amb una major probabilitat de presència de patògens (per a més informació sobre les espècies patògenes de cocs i bacils, consulteu l'apartat 5.1 de l'annex). En conseqüència, els resultats quantitatius enregistrats a les taules i gràfiques presents a l'apartat recompte de colònies (apartat 2.3.2) han estat la principal referència per a la formulació d'una resposta.

Les xifres enregistrades demostren que el tramvia és el transport amb una major quantitat de colònies, especialment en el torn de principi de jornada. Considerem que el resultat obtingut és coherent, donada la informació sobre els protocols de neteja de les empreses responsables. Mentre que FGC i TMB segueixen un model de neteja diària, l'equip de TRAM realitza neteges mensuals i trimestrals addicionals, les quals no tenen una data fixa. La justificació del resultat rau en la possibilitat que TRAM dediqui més esforços i recursos econòmics a les neteges mensuals i trimestrals, que són més profundes, que no pas a les diàries, que són més simples. En canvi, les altres dues empreses, pel fet de tenir un únic mètode, sempre compleixen amb un estàndard de qualitat més elevat. Com a conseqüència, els combois de TRAM podrien presentar més brutícia acumulada durant més temps (fins a la neteja mensual o trimestral) en comparació amb els vehicles de les altres empreses.

3.2. Grau d'assoliment dels objectius

En aquest apartat es valora el grau d'assoliment dels objectius definits en el plantejament inicial del Treball de Recerca.

Finalitzat el treball pràctic de laboratori, s'ha observat que no ha estat possible identificar els bacteris segons la seva espècie, però sí que s'ha pogut classificar-los segons la seva morfologia i estructura de la paret bacteriana, i quantificar les colònies de cada mostra presa en els mitjans de transports estudiats. Per tant, aquest primer objectiu queda parcialment assolit.

Per altra banda, s'ha estat capaç de determinar quins transports d'entre els estudiats presenten una millor i pitjor higiene, basant-nos en la quantitat de colònies bacterianes crescudes a les sembres de les mostres preses. Com a conseqüència, es confirma l'assoliment satisfactori del segon objectiu.

Pel que fa a l'últim objectiu plantejat, que proposa el desenvolupament d'un mètode de desinfecció bacteriana preventiu, considerem que no ha estat assolit completament. Tot i que s'ha estat capaç d'idear i dissenyar una proposta capaç de prevenir la presència de bacteris, no s'ha pogut elaborar el producte com havia estat planejat a causa de diverses limitacions (per a més informació sobre la proposta, consulteu l'apartat 5.3 de l'annex).

3.3. Valoració dels resultats obtinguts

S'han interpretat les dades recopilades en les pràctiques portades a terme durant el treball per tal de donar resposta als dubtes plantejats.

En els resultats de la Taula 2.3.1.1 s'observa que, de les vint-i-una colònies analitzades, sis corresponen a bacteris gramnegatius. Com s'esmenta a l'apartat *microbiologia bàsica*, els bacteris gramnegatius tenen una major probabilitat de patogenicitat gràcies a la seva adherència. Pel fet que la proporció de gramnegatius és inferior a la de grampositius, es considera que la presència de patògens al transport públic és més reduïda del que es podia esperar inicialment. En aquest sentit, caldria portar a terme proves d'identificació bacteriana més específiques per determinar amb major precisió la presència patògena.

Paral·lelament a l'interrogant principal del projecte, les dades enregistrades a les taules de l'apartat *Recompte de colònies* han permès elaborar unes conclusions sòlides respecte a la higienització dels vehicles estudiats.

Mentre que el tramvia és el transport amb una major presència de bacteris, els vehicles de l'empresa FGC es posicionen com el transport amb la menor quantitat de colònies trobades. Considerem que aquest resultat està condicionat per un factor d'higienització del transport, de manera que es confirma una major eficàcia en el protocol de neteja d'FGC per sobre de les altres dues entitats responsables (TMB i TRAM). A més a més, d'entre les línies de ferrocarril estudiades, les línies S1/S2/L6 resulten ser les que presenten una menor presència bacteriana en comparació amb la línia L7. Mentre que les línies S1/S2/L6 segueixen rutes que inclouen trams exteriors i subterrànies, la línia L7 segueix una ruta exclusivament subterrània. Així doncs, és possible que en combois d'una mateixa empresa, és a dir, aquells que són higienitzats segons un mateix protocol, les diferències en els resultats siguin causades per les diferents rutes que segueixen. Com a conseqüència, té sentit afirmar que en els vehicles amb ruta únicament subterrània, com el cas de la línia L7, hi haurà una major presència bacteriana a causa de factors com una ventilació reduïda o una elevada concentració de passatgers en espais tancats.

D'altra banda, com mostren els resultats que figuren a la Taula 2.3.2.2, la superfície que presenta un recompte més elevat és el terra. Aquesta dada té sentit, ja que el terra resulta ser una superfície que es neteja d'acord amb el criteri dels operaris, és a dir, només s'inclou en el protocol en cas que hagi quedat molt bruta durant el transcurs de la jornada. Addicionalment, el creixement colonial en mostres de seients també ha estat elevat. Això ens porta a pensar que els materials de les superfícies estudiades juguen un paper important en la presència bacteriana. En el cas dels seients, el material és un component tèxtil, de manera que la seva higienització resulta una tasca més complexa en comparació a altres parts dels combois, com les baranes i els botons, fabricats a partir de metalls i plàstics amb superfícies llises i ergonòmiques, que faciliten la neteja.

També cal destacar que, al contrari del que es podia esperar seguint una de les hipòtesis plantejades a l'inici del treball, la quantitat de colònies bacterianes ha estat superior en les mostres de primera hora de la jornada que en les mostres d'última hora de la jornada. Això porta a pensar que, tot i que s'han pogut classificar els diferents protocols de neteja segons la seva efectivitat, cap resulta complir amb èxit la seva funció principal: eliminar els bacteris presents en els combois. Aquest fet el podem relacionar amb un dels arguments de l'apartat *Fonamentació legal*, on es detallen els marcs legals pels quals s'han de regir les empreses

dels transports públics de la ciutat. Més concretament, en un dels paràgrafs, s'explica com aquestes empreses estan sotmeses a uns controls de qualitat que avaluen aspectes com la higienització. Aquests controls es porten a terme, majoritàriament, per l'empresa pública ATM, també encarregada del finançament de TRAM, FGC i TMB. Per tant, l'elevada presència bacteriana en les mostres de principi de jornada fa pensar que els protocols de neteja no són prou efectius, probablement per una inversió o execució d'uns estàndards de control insuficients per part del govern, tal com s'ha evidenciat. Per altra banda, considerem necessari fer esment que l'elevada quantitat de colònies que s'observa en les mostres recollides en les primeres hores de circulació dels combois en comparació a les trobades en les mostres de les últimes hores és contradictori en referència al plantejament inicial. Actualment, la informació recopilada a través dels estudis i investigacions analitzats al llarg del projecte no permeten trobar una conclusió ferma a aquesta qüestió, de manera que ha quedat anotada com a una futura línia d'investigació.

Finalment, s'exposen les consideracions derivades dels experiments realitzats respecte a l'efectivitat de la llum UV-C com a producte antibacterià. Després de realitzar diversos assaigs, que no van proporcionar resultats significativament mesurables (vegeu l'apartat 5.2 de l'annex per a una descripció més desenvolupada), es va executar un últim experiment que, de la mateixa manera, no ha aportat dades prou concloents per a la investigació (vegeu l'apartat 2.3.3 de *Síntesi dels resultats obtinguts*).

Tal com s'observa a les imatges de la Taula 2.3.3.1, l'estat de les colònies abans i després de l'exposició a radiació UV-C presenta variacions mínimes, fet que també es dona en les mostres no irradiades. Aquest conjunt d'evidències suggereix que la llum UV-C no actua com un producte germicida, sinó que exerceix una funció d'inhibidor del creixement microbià. Per tant, s'ha arribat a la conclusió que la radiació ultraviolada hauria d'emprar-se com a mètode complementari dins d'un protocol de desinfecció, per exemple, combinada amb la proposta de superfícies antibacterianes desenvolupada a l'apartat 5.3 de l'annex.

Per altra banda, considerem que els resultats obtinguts han estat condicionats per l'excessiu temps de creixement de les colònies previ a l'exposició a la radiació UV-C. L'escassetat de nutrients en el medi de cultiu d'agar-agar hauria provocat que els bacteris de les colònies entressin en una fase estacionària del seu metabolisme, en què la proliferació bacteriana s'igualava amb la mort dels bacteris i, per tant, les diferències observables entre les colònies de control i les colònies experimentals han estat molt pobres. És a dir, en un medi amb prou nutrients per afavorir el creixement bacterià, les colònies sembrades a la placa de petri de control haurien crescut a un ritme més elevat respecte a les colònies exposades a radiació UV-C, de manera que les anomalies observades haurien estat més notables.

3.4. Limitacions

Durant l'elaboració del projecte, s'han trobat algunes problemàtiques que s'han hagut de superar per poder assolir els plantejaments principals.

Per començar, l'empresa de TMB va trigar a proporcionar respostes als correus enviats en petició de la informació necessària. Algunes d'aquestes respostes eren poc específiques o, fins i tot, mai van arribar, motiu pel qual vam excloure altres transports com els autobusos de l'estudi. També, a l'inici del treball, va ser una tasca complicada establir les variables controlades en la recollida de mostres al transport públic. Les condicions a tenir en compte eren diverses i, en molts casos, difícils de controlar simultàniament (humitat, antiguitat del vehicle, hora de la recollida de mostres, etc.).

El principal problema que ha enrederit la realització del projecte ha estat la manca d'un espai d'experimentació equipat, com el laboratori de l'escola, tant durant el període de vacances d'estiu com al llarg del curs, en què l'accés a les instal·lacions era limitat. Aquesta manca de recursos ha condicionat l'execució d'alguns assajos. En la tinció de Gram, no ha estat possible determinar l'espècie dels bacteris analitzats, de manera que la classificació s'ha basat únicament en característiques com la seva morfologia o estructura de la paret bacteriana. A més a més, la quantitat de rèpliques que podien realitzar-se era reduïda, especialment tenint en compte certs aspectes com la manca de materials i les limitacions pressupostàries, les quals no podien superar-se.

Per acabar, també cal destacar les dificultats trobades a l'hora de decidir un projecte final. Tot i que es van plantejar diverses idees, moltes d'aquestes tenien considerables contres (dèntics dèrmics, nanopartícules de coure, additius als plàstics, etc.), les quals eren difícils de remeiar des de la nostra posició. Per aquest motiu, es va acabar prenent una decisió amb menys temps de previsió, de manera que el desenvolupament de la idea ha estat un procés més laboriós del que havia estat planejat.

3.5. Propostes de millora

Durant la realització dels diversos experiments que constitueixen el treball s'han trobat una sèrie d'impediments. Per aquest motiu, en aquest apartat s'exposen els aspectes a adoptar de cara a futur per assegurar l'assoliment d'uns assajos amb resultats més concloents.

En primer lloc, utilitzar una varietat més ampla de tècniques d'identificació bacteriana, que permetin una classificació més específica i completa dels bacteris analitzats, com, ara bé, segons la seva patogenicitat. Tot i que aquest aspecte no recau totalment sobre les nostres mans, sinó que depèn més aviat de les instal·lacions i estris disponibles a l'escola, considerem que aprofundir en aquest apartat del treball l'hagués dotat d'un major rigor científic i professionalitat. Paral·lelament, també hauria estat ideal disposar de més rèpliques per ambdós estudis de laboratori —tinció de Gram i recompte colonial— per tal d'augmentar la fiabilitat dels resultats obtinguts.

Addicionalment, s'hauria d'haver fet més models d'experiments amb llum UV-C. Per una banda, hauria aportat resultats més concloents, que haguessin permès comprovar amb més precisió l'efectivitat de la llum com a producte antibacterià. Per altra banda, la disposició de més rèpliques hauria contribuït a un major rigor i fiabilitat en els resultats.

Finalment, com ja s'ha esmentat prèviament a l'apartat *Valoració dels resultats obtinguts*, considerem que si l'exposició dels cultius a la radiació UV-C hagués estat més primerenca, els experiments realitzats haurien demostrat una major viabilitat del producte com a mètode desinfectant. Així doncs, aquest és un canvi que s'hauria d'adaptar de cara a properes proves.

3.6. Línies de futur

Un cop finalitzat aquest treball, s'han analitzat les limitacions tècniques, teòriques i temporals que han condicionat el desenvolupament del projecte. Aquest apartat recull les possibles línies de continuació de la recerca que hauria estat interessant explorar, però que no s'han pogut abordar a causa de les limitacions trobades.

Gràcies a la recerca realitzada durant la primera fase del projecte, s'han identificat diverses maneres d'implementar materials o substàncies amb propietats antibacterianes. Algunes d'aquestes opcions resulten especialment interessants i es presenten com possibles estudis alternatius per assolir un dels objectius del projecte: desenvolupar un mètode antibacterià preventiu.

La línia que ha comportat una major inversió ha estat l'estudi de mecanismes antibacterians trobats a la natura, com els presents en taurons, crancs, determinats musclos o algunes espècies de granotes. En particular, l'atenció s'ha centrat a la investigació en la pell dels taurons, que disposa de característiques que la converteixen en una superfície capaç d'impedir l'adherència bacteriana (Per a més informació sobre la pell dels taurons com a superfície antiadherent de bacteris, consulteu l'apartat 5.3 de l'annex).

A més a més, es plantegen altres línies de recerca de caràcter preventiu per a estudis futurs, com l'ús d'additius antimicrobians o d'ions de metalls —com la plata, el coure o el titani—, que presenten propietats antibacterianes. Aquests productes poden aplicar-se com a recobriments de superfícies amb l'objectiu d'incorporar-hi les propietats preventives que es volen replicar.

En últim lloc, es proposa portar a terme un estudi que inclogui totes les línies de TMB, FGC i TRAM i, fins i tot, incorporar-hi algunes línies d'autobús. Inicialment, aquesta era la idea principal del projecte, però, a causa de les limitacions d'equipament i de disponibilitat, es va haver de descartar aquesta línia d'investigació.

4. Fonts

- [1] AENOR (s.d.). «Certificación de calidad ISO 9001». AENOR. [12 de juny de 2025]. <https://www.aenor.com/certificacion/calidad/iso-9001>
- [2] Blaize JF, Suter E, Corbo, CP (2019). Serial Dilutions and Planting: Microbial Enumeration. Wagner College, Staten Island, New York, USA. <https://www.jove.com/es/v/10507/serial-dilutions-and-plating-microbial-enumeration>
- [3] Casasola, Maria Jimena (2022). La importancia de realizar una correcta tinción de Gram en la identificación bacteriana. Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica. <https://revista.microbiologos.cr/wp-content/uploads/2023/11/Volumen-27-No2-Articulo-3-89-98.pdf>
- [4] CDEC.arc – Centre de Documentació i Experimentació en Ciències. (s.d.). Full sobre la tinció de Gram. Material lliurat a classe.
- [5] Clínica Universidad de Navarra (2023). «Qué es la Patogenicidad». [23 de juny de 2025]. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/patogenicidad>
- [6] El-Bialy, H. A., & Abou El-Nour, S. A. (2015). Physical and chemical stress on *Serratia marcescens* and studies on prodigiosin pigment production. *Annals of Microbiology*, 65(1), 59–68. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0837-8>
- [7] FGC (10 abril, 2025). «Contrato programa FGC - Autoritat del Transport Metropolità». *Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya*. [12 de juny de 2025]. <https://transparencia.fgc.cat/es/sociedades-participadas-por-fgc/cargometro-rail-transport-sa/informacion-publica/planes-programas/planes-y-programas-generales-y-sectoriales/plans-i-programes-dels-organs-i-ens-matrius/contracte-programa-fgc-atm>
- [8] Fundación RAED (2021). «Biomímesis y desarrollo sostenible, un concepto revolucionario para afrontar los retos vitales de nuestra civilización». Reial Acadèmia Europea de Doctors. [23 de juny de 2025]. RAED. <https://raed.academy/biomimesis-y-desarrollo-sostenible-un-concepto-revolucionario-para-afrontar-los-retos-vitales-de-nuestra-civilizacion/>
- [9] Gabler-Smith MK., Wainwright DK., Wong GA, Lauder GV (2021). *Dermal Denticle Diversity in Sharks: Novel Patterns on the Interbranchial Skin*. University of Oxford. <https://academic.oup.com/iob/article/3/1/obab034/6438440#324589615>
- [10] García Carpintero EE, Cárdaña Arranz M, Sánchez Gómez LM (2020) «Revisión bibliográfica sobre la eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y el Ozono para la desinfección de superficies». Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AETS) - Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Sanidad. [21 de juliol de 2025]. https://drive.google.com/file/d/1JenU3Bpx1uMT_A1edbC5IVfmwu6HH1Mw/view?usp=sharing

- [11] Kodoth, V., & Jones, M. (2015). The effects of ultraviolet light on *Escherichia coli*. *Journal of Emerging Investigators*.
https://www.medicalmate.gr/wp-content/uploads/2020/05/Ultraviolet_E_Coli_final.pdf
- [12] Martí, Marta (s.d.) «Microbiologia». Material lliurat a classe.
https://docs.google.com/presentation/d/10KLs6Re5ojoYGgiir8e9ArxUJJ7z4RUI8acta6KSeT8/edit?usp=drive_link
- [13] Martini KM, Boddu SS, Nemenman I, Vega NM (2024). Maximum likelihood estimators for colony-forming units. Emory University, Atlanta, Georgia, USA.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11371269/>
- [14] Microchem Laboratory (s.d.) «Log and Percent Reductions in Microbiology and Antimicrobial Testing». Microchemlab. [30 d'agost de 2025].
<https://microchemlab.com/information/log-and-percent-reductions-microbiology-and-antimicrobial-testing/>
- [15] Rosero, Santiago (4 de gener de 2025). «El científico que emuló la piel del tiburón de Galápagos para crear una lámina antibacteriana». *EL PAÍS*. [6 de juny de 2025]. Ediciones El País.
<https://elpais.com/america-futura/2025-01-04/el-cientifico-que-emulo-la-piel-del-tiburon-de-galapagos-para-crear-una-lamina-antibacteriana.html>
- [16] Sandle, Tim (27 de setembre de 2020). «Assessing Gram-stain error rates within the pharmaceutical microbiology laboratory». [6 de juny de 2025].
<https://www.ejpps.online/post/vol25-1-assessing-gram-stain-error-rates-within-the-pharmaceutical-microbiology>
- [17] TMB (novembre, 2022). «Pliego de condiciones técnicas para la adquisición de vehículos autobuses». *PPT_14987138-10*. [12 de juny de 2025].
<https://drive.google.com/file/d/1EDqmnEFMKgia4yCGWHowVSIJu73wexWJ/view>
- [18] TMB (s.d.). «Certificado núm. EC-0432/00». *Transport Metropolità de Barcelona*. [12 de juny de 2025].
<https://www.tmb.cat/documents/20182/873410/Certificat+ISO+9001+TMB+ES.pdf/09221adc-4901-4ce8-8efc-f68d25ddeb54>
- [19] Tolmie, James (7 de març, 2022). «BS EN ISO 15858: Human Exposure Limits to UV-C». testlabs. [25 de juliol de 2025].
<https://testlabsuk.com/blog/bs-en-iso-15858-human-exposure-limits-to-uv-c/>
- [20] Tulio Rodríguez, Jorge & Prado Cohrs, David (2005). *Microbiología: lo esencial y lo práctico*. Universidad Francisco Marroquín, Guatemala.
https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51601/MicrobiologiaPractico_spa.pdf
- [21] UV medico (5 de març, 2024). «ISO 15858:2016 UVC Devices - Safety info - Permissible human exposure». uvmedico. [21 de juliol de 2025].

<https://uvmedico.com/research-and-publications/iso-158582016-uv-c-devices-safety-information-permissible-human-exposure>.

[22] UVFAB «Ultraviolet Radiation» [26 d'octobre de 2025]
<https://www.uvfab.com/uv-spectrum-and-applications/>

5. Annex

5.1. Patogenicitat bacteriana

A continuació, es presenta el llistat de patògens comuns amb adaptacions a les condicions de l'entorn urbà: [20]

- *Staphylococcus aureus*:

Staphylococcus aureus és un bacteri que es presenta en tètades o agrupacions irregulars de cocs grampositius, com es mostra a la figura 5.1.1. És un dels principals causants d'infeccions a la comunitat de zones urbanes a causa de la seva resistència a la majoria d'antibiòtics moderns. El mecanisme patogènic del bacteri consisteix en la invasió del teixit i la producció de toxines i enzims, encarregats de la destrucció tissular i la transformació del teixit de l'hoste en nutrients aprofitables. Les manifestacions clíniques més comunes associades a l'afectació per *S. aureus* són les infeccions cutànies (furúncol i cel·lulitis) i la pneumònia.

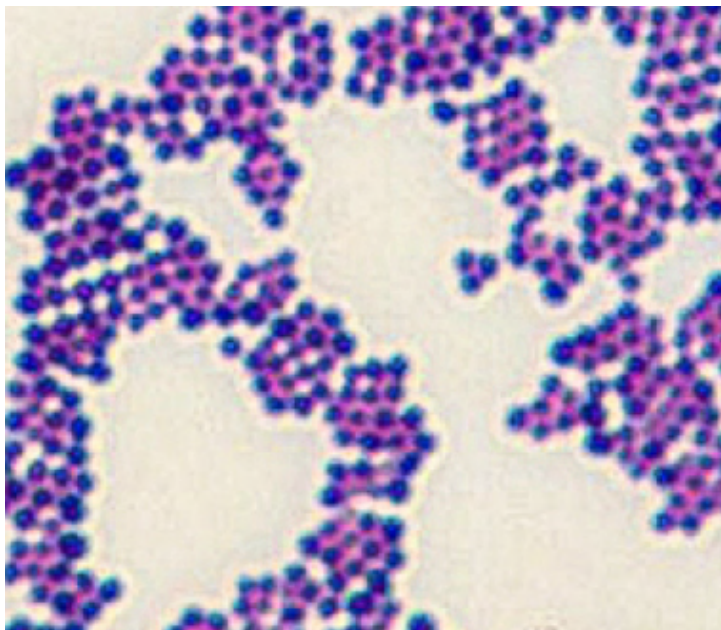


Figura 5.1.1: tinció de Gram de *Staphylococcus aureus*. Wadsworth Center. 2016.

- *Streptococcus pyogenes*:

Streptococcus pyogenes és un coc grampositiu que s'agrupa formant cadenes de longituds variables, com es mostra a la figura 5.1.2. Aquests bacteris presenten una paret cel·lular amb fimbries, que faciliten la seva adherència a les cèl·lules de teixit epitelial, i una càpsula amb activitat antifagocítica, que impedeix l'actuació del sistema immunitari de l'hoste. Les manifestacions clíniques que provoca es deriven de la invasió de teixits i la generació de toxines, de les quals destaquen les infeccions cutànies (impetigen, cel·lulitis i escarlatina) i faringoamigdalitis.

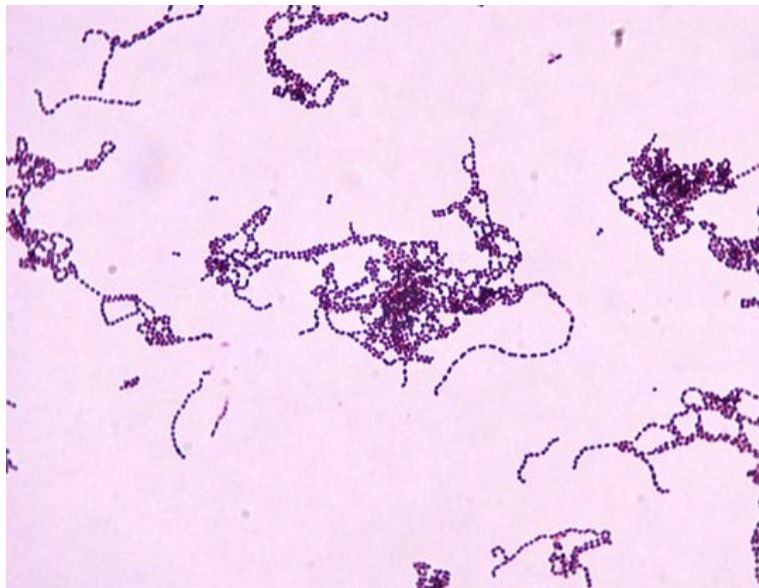


Figura 5.1.2: tinció de Gram de *Streptococcus pyogenes*. Haymarket Medical Network. 2019.

- *Streptococcus pneumoniae*:

Streptococcus pneumoniae són diplococs grampositius agrupats en cadenes, com es mostra a la figura 5.1.3. Les infeccions causades per aquests bacteris es deuen únicament a la seva capacitat de multiplicació als teixits de l'hoste, ja que no produeixen toxines. En funció de la seva càpsula bacteriana, els bacteris presenten una diferent virulència, que pot impedir la destrucció bacteriana intracel·lular i impossibilitar o dificultar l'activitat fagocítica en major o menor grau. Les malalties més comunes provocades per infeccions de *Streptococcus pneumoniae* són l'otitis mitjana-aguda, la sinusitis i la conjuntivitis.

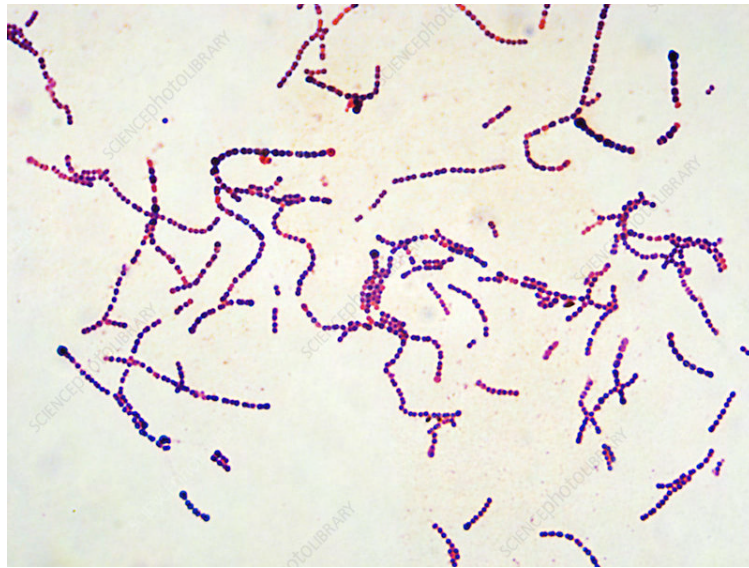


Figura 5.1.3: tinció de Gram de *Streptococcus pneumoniae*. Science Photo Library.

- *Enterococcus* spp:

Enterococcus és un coc grampositiu que habitualment es disposa en forma de cadenes de longitud variable, amb una morfologia semblant a la dels estreptococs, com s'observa a la figura 5.1.4. En cultius bacteriològics, formen colònies de color blanc i de mida considerable. La seva elevada resistència als antibiòtics convencionals els transforma en patògens freqüents. Les espècies més abundants són els *Enterococcus faecalis* i els *Enterococcus faecium*. Les malalties més comunes associades a *Enterococcus* són les infeccions del tracte urinari, bacterièmia (infecció del torrent sanguini) i l'endocarditis (infecció de les vàlvules cardíques).



Figura 5.1.4: tinció de Gram d'*Enterococcus* spp. Microbe Canvas. 2019.

- *Clostridium difficile*:

Clostridium difficile és un bacil grampositiu, morfologia del qual és observable a la figura 5.1.5. La manca d'un tractament el converteix en un bacteri prevalent en zones urbanes de països desenvolupats. El *C. difficile* és un patogen oportunista del tracte gastrointestinal, capaç de provocar infeccions i inflamacions associades a l'alliberament de toxines a aquesta regió de l'organisme. Les manifestacions clíniques més freqüents associades a la infecció per *C. difficile* són la diarrea infecciosa i la colitis pseudomembranosa (inflamació del colon), però poden anar acompanyades d'altres símptomes com febre o dolor abdominal.

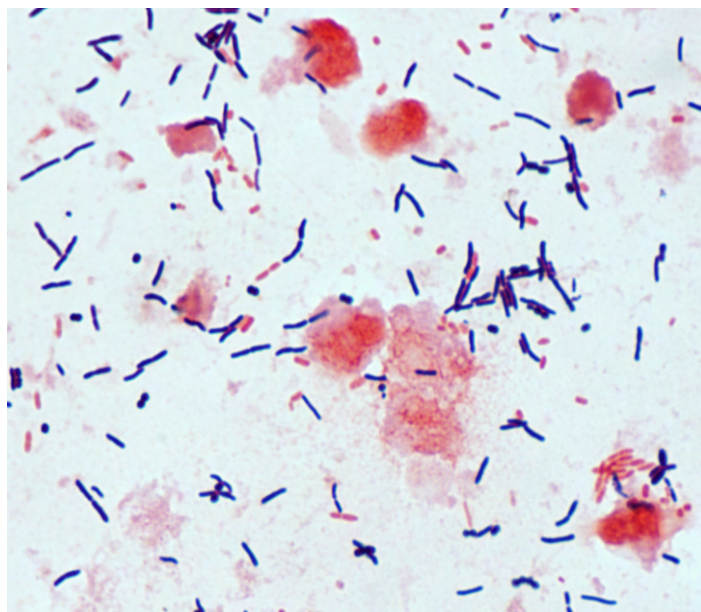


Figura 5.1.5: tinció de Gram de *Clostridium difficile*. Universitat de Washington. 2025.

- *Corynebacterium diphtheriae*:

Corynebacterium diphtheriae és un bacil pleomòrfic grampositiu, morfologia del qual es pot observar a la figura 5.1.6. El microorganisme no és un patogen en el seu estat, però pot adquirir la producció d'una toxina a través de la infecció per virus bacteriòfags. L'alliberament d'aquesta toxina és el motiu de les malalties provocades pel bacteri en éssers humans i altres mamífers. La principal malaltia derivada del bacteri *C. diphtheriae* és la diftèria, que afecta principalment les vies respiratòries superiors, tot i que el bacteri també pot causar afectacions localitzades, com otitis, conjuntivitis, i infeccions cutànies o vaginals.

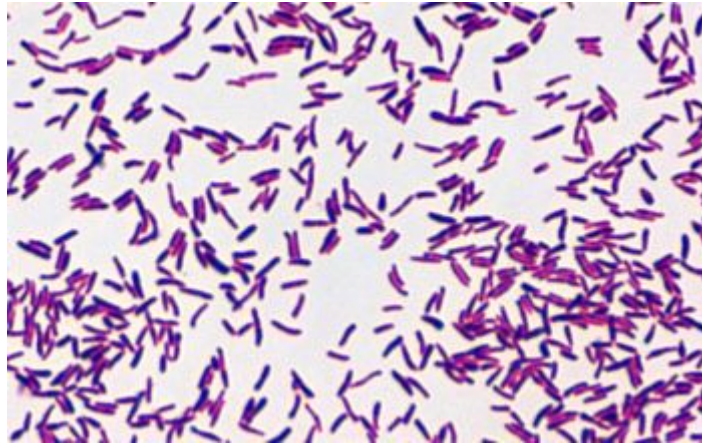


Figura 5.1.6: tinció de Gram de *Corynebacterium diphtheriae*. Microbe canvas. 2019.

- Enterobacteriaceae:

Enterobacteriaceae és una família de bacteris formada per una àmplia varietat d'espècies bacterianes. El bacteri *Escherichia coli* és un dels més comuns entre aquesta família. *Escherichia coli* és un bacil gramnegatiu, morfologia del qual es mostra a la figura 5.1.7. Quan és un patògen, el bacteri *E. coli* es considera una de les causes més habituals de diarrea bacteriana mundialment.



Figura 5.1.7: tinció de Gram d'*Escherichia coli*. ATSU. 1996.

- *Pseudomona aeruginosa*:

Pseudomona aeruginosa és un bacil gramnegatiu, morfologia del qual es pot observar a la figura 5.1.8. El bacteri *P. aeruginosa* és un patògen causant d'infeccions oportunistes que es troba present a una varietat de superfícies. Aquest microorganisme destaca per la seva resistència a múltiples antibiòtics, la qual adquireix per la presència d'un plasmidi que inhibeix l'acció d'aquests tractaments. Les manifestacions clíniques més comunes associades a l'afectació per *P. aeruginosa* són la pneumònia, infeccions del tracte urinari, infeccions oculars i otitis externa.



Figura 5.1.8: tinció de Gram de *Pseudomona aeruginosa*. CCBCMD.

- *Moraxella catarrhalis*:

Moraxella catarrhalis són diplococs gramnegatius, com es mostra a la figura 5.1.9. Es tracta d'un bacteri oportunista que té especial incidència en persones amb malalties respiratòries. Les infeccions més comunes provocades pel bacteri *Moraxella catarrhalis* afecten el sistema respiratori superior, incloent-hi la sinusitis, la faringitis o la laringitis. Tanmateix, també pot causar altres afectacions com la bronquitis, la pneumònia o la tos persistent.

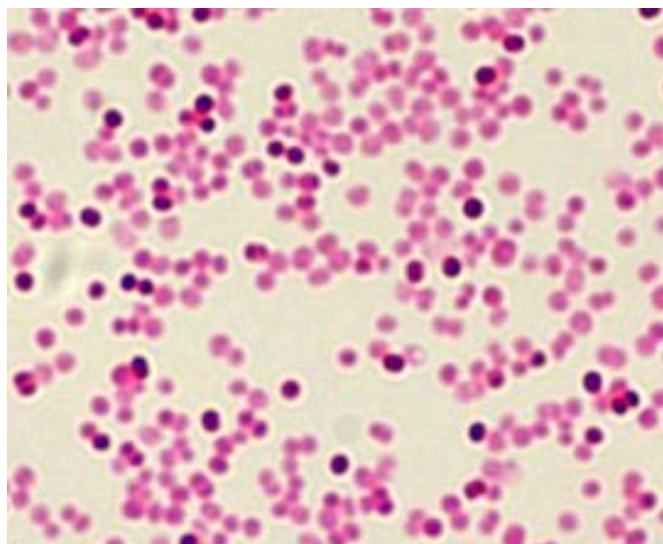


Figura 5.1.9: tinció de Gram de *Moraxella catarrhalis*. Microbe canvas. 2019.

5.2. Metodologia UV-C

La planificació de l'estudi sobre l'efectivitat de la radiació UV-C com a agent desinfectant de superfícies va requerir l'elaboració de dos procediments independents. La metodologia descrita en aquest apartat es va dissenyar amb la intenció d'obtenir resultats quantitatius que permetessin avaluar l'efectivitat de la radiació UV-C com a tractament antibacterià. La seva aplicació pràctica, però, no va generar dades prou consistents per extreure unes conclusions adequadament fonamentades. En aquesta secció es presenten els subapartats dedicats a la metodologia, el fonament teòric i els resultats corresponents a aquesta part del projecte.

5.2.1. Metodologia

A continuació, es detallen els aspectes del procediment a seguir per a l'obtenció —en un marc teòric— de resultats quantitatius en l'estudi de l'efectivitat de la radiació UV-C com a tractament antibacterià.

Estris

- Contenidor folrat amb paper d'alumini
- Escuradents
- Guants
- Hisops estèrils
- Làmpada UV-C de 254 nm
- Llantió o Bunsen (font de calor)
- Pipetes Pasteur
- Plaques de petri amb medi de cultiu (agar-agar)
- Plaques de petri
- Temporitzador

- Tubs d'assaig

Substàncies

- Sèrum fisiològic 0,9% NaCl

Procediment

Preparació de les mostres

1. Mostrejar un hisop estèril d'una superfície d'un comboi de qualsevol dels transports estudiats.
2. Introduir l'hisop a dins d'un tub d'assaig amb 10 mL de sèrum.
3. Fer un moviment rotatori suau per transferir la mostra a la solució.
4. Distribuir els 10 mL de solució en 4 plaques de petri. Seguir la següent distribució:
 - Placa de petri núm. 1: 2 mL (grup de control).
 - Placa de petri núm. 2: 3 mL exposats a la UV-C per 5 minuts (tractament núm. 1 de la variable independent).
 - Placa de petri núm. 3: 3 mL exposats a la UV-C per 10 minuts (tractament núm. 2 de la variable independent).
 - Placa de petri núm. 4: 3 mL exposats a la UV-C per 15 minuts (tractament núm. 3 de la variable independent).

Aplicació del tractament

5. Esterilitzar l'interior del contenidor amb un llantió o Bunsen.
6. Introduir les plaques de petri al contenidor.
7. Col·locar la làmpada UV-C a 5-10 cm de les plaques.
8. Exposar les tres plaques de petri a la radiació UV-C durant períodes de 5, 10 i 15 minuts (cada període de temps correspon a una placa diferent).

Sembra de les mostres

9. Enumerar els medis de cultiu. Dos de grup control i tres de grup experimental (5, 10 i 15 minuts d'exposició).
10. Dividir els medis de cultiu de grup experimental en tres regions d'àrea similar. Cada regió serà una rèplica de cadascun dels tractaments de la variable independent.
11. Sembrar un 1 mL de solució a cadascun dels cultius de grup control amb l'ajuda d'un escuradents.
12. Sembrar els 3 mL de solució exposats durant 5 minuts a cadascuna de les tres regions del cultiu corresponent amb l'ajuda d'un escuradents.

13. Sembrar els 3 mL de solució exposats durant 10 minuts a cadascuna de les tres regions del cultiu corresponent amb l'ajuda d'un escuradents.
14. Sembrar els 3 mL de solució exposats durant 15 minuts a cadascuna de les tres regions del cultiu corresponent amb l'ajuda d'un escuradents.
15. Incubar els medis de cultiu a 37 °C durant un mínim de 48-72 hores.

Anàlisi dels resultats

16. Realitzar el recompte de colònies resultants als cultius de control i anotar els valors.
17. Realitzar el recompte de colònies resultants a les tres regions del cultiu exposat durant 5 minuts.
18. Realitzar el recompte de colònies resultants a les tres regions del cultiu exposat durant 10 minuts.
19. Realitzar el recompte de colònies resultants a les tres regions del cultiu exposat durant 15 minuts.
20. Fer els càlculs pertinents (especificats a l'apartat 5.2.2.). [2]

5.2.2. Marc teòric

En aquest apartat es presenta el fonament teòric necessari per a la correcta realització del pas núm. 20 de la metodologia descrita al punt 5.2.1.

Per analitzar l'eficàcia d'un tractament basat en la llum UV-C, s'apliquen dues fórmules:

El nombre d'unitats formadores de colònies per mil·lilitre (CFU/mL) és la magnitud que indica els bacteris viables a una suspensió no diluïda (suspensió original). Per calcular aquests valors, s'aplica la següent fórmula:

$$CFU/mL = \frac{\text{nombre de colònies}}{\text{volum sembrat (mL)} \cdot \text{factor de dilució}}$$

- Nombre de colònies: colònies resultants de la sembra d'una dilució.
- Volum sembrat: quantitat de dilució utilitzada a la sembra.
- Factor de dilució: grau de dilució respecte a la mostra original.

El càlcul de la reducció logarítmica permet determinar l'eficàcia del tractament a partir de comparar el CFU/mL del grup control amb el de les rèpliques del grup experimental. La fórmula de la reducció logarítmica és la següent:

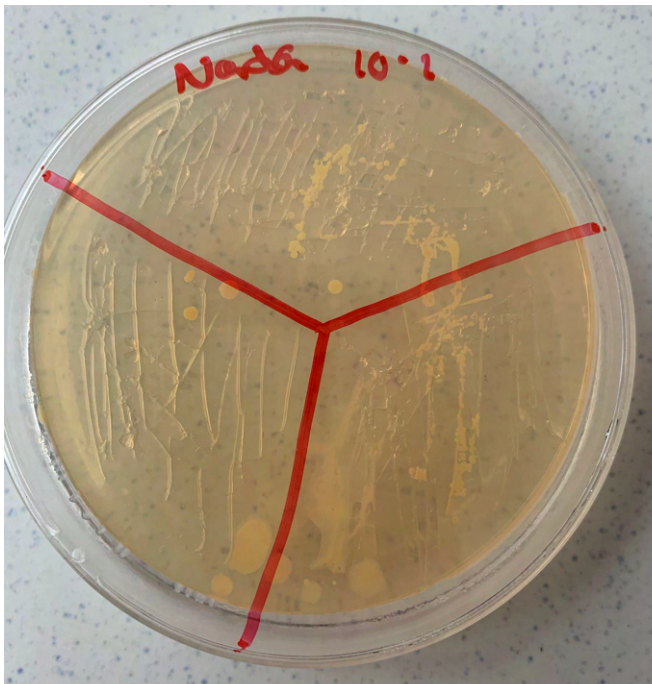
$$\text{Reducció logarítmica} = \log_{10} \left(\frac{\text{CFU/mL control}}{\text{CFU/mL tractat}} \right)$$

El resultat s'expressa en “valors log”. Cada unitat log (1, 2, 3...) equival aproximadament a una reducció del 90%, 99% i 99,9% de bacteris, respectivament. [13] [14]

5.2.3. Resultats

En aquest subapartat es mostren els resultats obtinguts a l'estudi que s'ajusta a la metodologia detallada al subapartat 5.2.1. A la taula 5.2.3.1 es poden observar les imatges corresponents a cada grup de sembra de bacteris segons el temps al qual han estat exposats a llum UV-C (0, 5, 10 i 15 minuts):

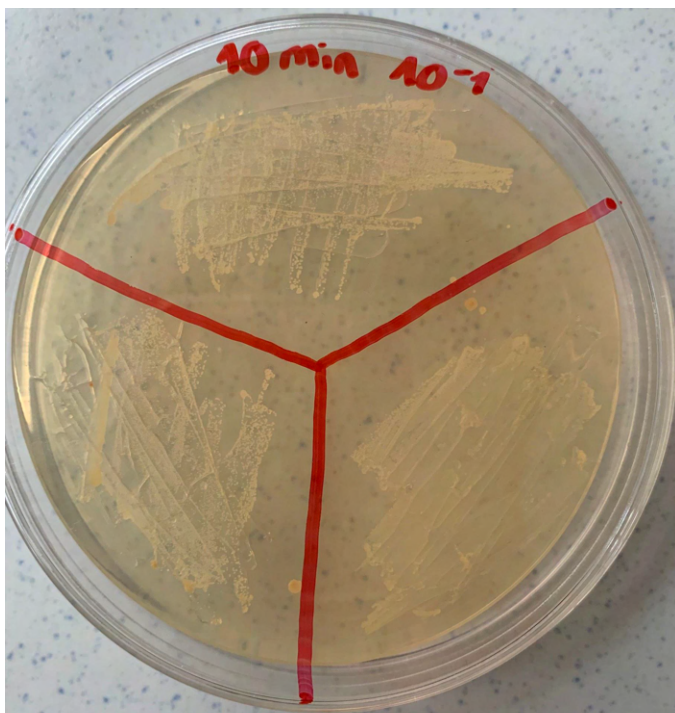
Taula 5.2.3.1: imatges dels cultius després de l'exposició a radiació UV-C.

	RESULTATS FOTOGRÀFICS
GRUP CONTROL	

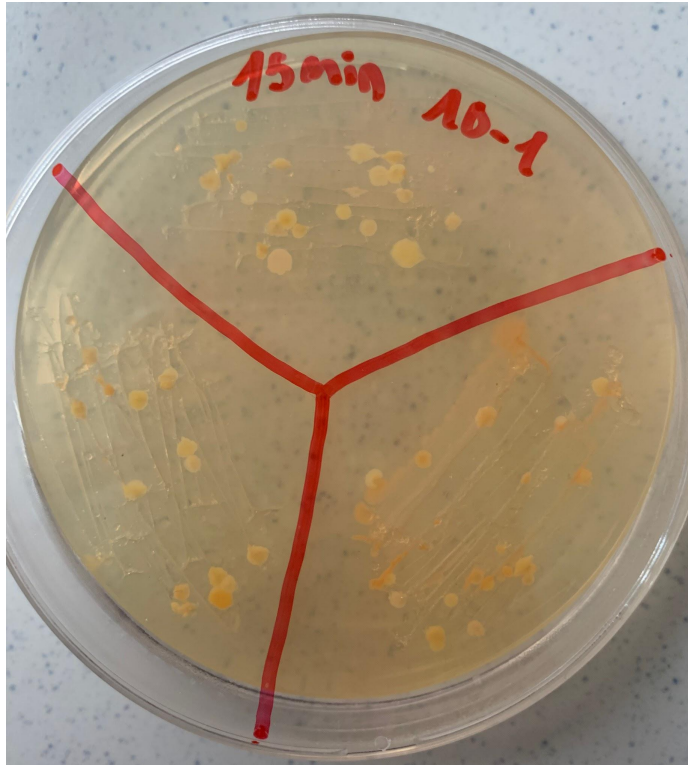
5 MINUTS



10 MINUTS



15 MINUTS



Tal com es menciona a l'encapçalament de l'apartat 5.2, els resultats obtinguts a l'estudi que pren com a marc metodològic el procediment descrit al punt 5.2.1 no han proporcionat dades prou sòlides per a l'elaboració de conclusions fermes. En conseqüència, els resultats s'han recollit i exposat únicament en format fotogràfic amb la finalitat d'exposar el seguiment complet del treball de laboratori.

5.3. Elaboració d'una superfície antibacteriana

Inicialment, l'objectiu principal del projecte era el desenvolupament d'una solució preventiva a la problemàtica higiènica actual detectada en el conjunt del transport públic ferroviari de Barcelona. Per assolir aquest propòsit, s'ha elaborat una proposta basada en la replicació d'estructures i mecanismes presents a la naturalesa.

Tanmateix, aquesta solució no s'ha pogut desenvolupar tal com havia estat concebuda inicialment a causa de diversos impediments trobats durant el procés. Com es precisa als subapartats inferiors d'aquesta secció, la propietat antiadherent de bacteris de la pell dels taurons rau en la mida microscòpica de les estructures de les quals està formada. No obstant això, la tecnologia d'impressió 3D comercial actual no permet reproduir una maqueta fidel a l'estructura original, ja que no disposa de la precisió necessària per treballar a escala micromètrica, de manera que no és possible comprovar l'efectivitat del prototip. Per

aquest motiu, aquesta s'ha decidit reservar com la línia futura principal, la qual es preveu complementar amb la tècnica sobre la qual s'ha planificat el producte final definitiu del projecte.

La informació detallada en aquest apartat profunditza en els aspectes abordats durant el procés d'ideació, recerca i disseny de la proposta inicial de producte final.

Metodologia

A continuació, s'exposa el procediment que s'ha seguit durant el procés d'ideació, estudi, disseny i elaboració de la proposta inicial.

- I. Investigació d'elements trobats a la natura que presentin característiques antibacterianes.
- II. Documentació sobre les característiques antibacterianes de la pell del tauró mitjançant estudis i articles científics.
- III. Creació d'un prototip 3D que imita el patró de la pell del tauró a la plataforma Tinkercad (prenent com a referència el model de l'empresa *Sharklet Technologies*).
- IV. Contacte amb el tècnic especialista enginyer de disseny i fabricació de productes 3D de la fundació CIM de la Universitat Politècnica de Catalunya per a la impressió de la maqueta del prototip.
- V. Impressió d'un prototip a escala de la maqueta 3D dissenyada amb l'eina Tinkercad a través de la impressora 3D de l'escola. La figura 5.3.1 mostra una imatge de la impressió a escala del model.



Figura 5.3.1: prototip a escala de la maqueta 3D de la pell del tauró.

Marc teòric

La biomimètica és una branca de la ciència que estudia i replica els mecanismes i estratègies propis de la naturalesa per a ser aplicats com a solució als problemes humans. Aquest estudi ha permès el desenvolupament de materials i superfícies que repliquen estructures d'éssers vius amb capacitat antibacteriana. [8]

El científic Anthony Brennan, professor de Ciència i Enginyeria de Materials de la Universitat de Florida, va analitzar mostres de pell de taurons de diferents espècies, per arribar a la conclusió que aquesta presenta una estructura dotada de propietats antibacterianes. [15]

La pell dels taurons consta de tres capes: l'epidermis, la dermis i la carn. L'epidermis és l'estrat exterior de la seva pell, la qual està recoberta per unes estructures de mida microscòpica anomenades denticles dèrmics. Els denticles, que presenten formes i mides diferents, es disposen de forma heterogènia i irregular, de manera que deixen buits entre ells. Aquesta superfície dona com a resultat un augment en l'aerodinàmica i un increment de dificultat per a l'adhesió de microorganismes. Es coneix que aquestes propietats són presents a tots els taurons independentment de l'espècie, ja que els seus denticles, que presenten diferències morfològiques segons el tipus de tauró, compleixen les mateixes funcions.

L'empresa *Sharklet Technologies*, fundada per Brennan, és considerada una de les pioneres en el sector per haver desenvolupat productes que imiten aquesta superfície sense l'ús de productes químics o additius. Aquests productes són capaços d'evitar l'adhesió de fins a un 99,99% dels bacteris. [15]

Un estudi realitzat per investigadors de les universitats de Yale i Harvard als Estats Units estableix una comparació entre les mesures dels denticles dèrmics segons la morfologia i l'espècie de tauró. Encara no es coneix si aquestes dues condicions tenen un efecte sobre el percentatge d'efectivitat antibacteriana. Per a establir unes mesures de referència dels denticles dèrmics del tauró a escala real, s'ha pres una mateixa regió del cos de totes les espècies estudiades a l'article i s'ha calculat la mitjana aritmètica dels valors de les següents mesures: llargada i amplada. La vora de sortida de la pell interbranquial (la pell situada entre les brànquies) és la regió del cos que més s'assembla a la forma copiada pel model de *Sharklet technologies*, per tant, s'ha pres com a morfologia referent. A la taula

5.3.1 es mostren les mesures de llargada i amplada de la vora de sortida de la pell interbranquial de tretze espècies de taurons diferents. [9]

Taula 5.3.1: mesures dels denticles dèrmics.

Espècie	Llargada (µm)	Amplada (µm)
Cetorhinus maximus	466	283
Sphyrna tiburo	167	173
Scyliorhinus retifer	332	260
Triakis semifasciata	234	207
Lamna nasus	276	234
Carcharhinus taurus	367	469
Isurus oxyrinchus	147	131
Carcharhinus falciformis	177	200
Scyliorhinus canicula	315	203
Mustelus canis	213	209
Squalus acanthias	223	210
Alopias vulpinus	173	136
Carcharodon carcharias	242	227
Mitjana aritmètica	256,31	226,31

Fonamentació legal

La proposta inicial del treball de recerca gira entorn de l'estudi d'una superfície amb propietats antiadherents de bacteris capaç de ser aplicable al disseny interior dels combois. Per adreçar això, es tenen en consideració les normes que regulen la qualitat i condicions dels materials emprats en la construcció i equipament de les unitats ferroviàries.

L'Associació Espanyola de Normalització ha elaborat una sèrie de regulacions, que figuren al text legal UNE-EN 45545-2, respecte als materials a emprar en el disseny de combois. La normativa exigeix que aquests materials compleixin unes condicions específiques:

- Resistència al foc, per limitar el risc d'incendi.

- Baixa emissió de fums i gasos tòxics, per assegurar la seguretat de personal i passatgers en cas d'emergència.
- Durabilitat, per garantir una vida duradora del vehicle.

Paral·lelament, TMB presenta una normativa pròpia que aborda el compliment de mesures i condicions específiques en la qualitat dels materials utilitzats per al disseny dels combois. L'apartat 2.4.3 de la norma PPT 14987138-10 limita l'ús exclusiu de materials segurs per a personal i viatgers, sense inflamabilitat, antilliscants i ergonòmics, i fàcils de netejar. [17] [18]

6. Agraïments

En primer lloc, volem agrair a les nostres tutores del Treball de Recerca, la Cristina Caballero i la Marta Mallafré, pel seu suport i escolta al llarg del procés de desenvolupament del treball. Agraïm els seus ànims i confiança posada en el grup des del ben principi del camí, que han contribuït a mantenir una motivació cooperativa per a assolir els objectius plantejats i elaborar un Treball de Recerca que ens faci sentir orgullosos dels nostres esforços i inversions.

Donem les gràcies a aquells professors del centre que ens han dedicat el seu temps per ajudar-nos i aconsellar-nos en el camí per complir les nostres ambicions. Els docents del departament de biologia: Imma Ariño, Pol Cabrera i Marta Martí, que han estat allà per resoldre els dubtes relatius a l'apartat científic del treball i proporcionar-nos les eines necessàries per al compliment dels nostres objectius. El Josep Casadevall, professor de tecnologia, per aportar els seus coneixements d'impressió 3D i supervisar la impressió del prototip elaborat. A la Montse Guillem, cap d'estudis de batxillerat, per mostrar interès en el nostre treball i proporcionar-nos contactes que han estat clau en l'obtenció de la informació requerida pel correcte progrés del projecte.

Per altra banda, agraïm al nostre cotutor, Joan Carles Peiró, per la seva col·laboració i inspiració, que ens ha ajudat a trobar solució a les problemàtiques aparegudes al llarg del procés experimental del projecte i ens ha guiat en la planificació i elaboració del producte final del treball.

Gràcies a Felip Bresoli, Enrique Pereda, Albert Mena i Carlos, treballadors de TMB i FGC, per la seva atenció i col·laboració en la prestació d'informació sobre els protocols i horaris de neteja del transport públic. La vostra ajuda ha fet possible aquest treball. També, a la María Luisa González, professora de la Universitat d'Extremadura (UNEX), per la seva disponibilitat i voluntat a escoltar les nostres propostes i guiar-nos en l'elaboració del nostre producte.

Per acabar, a les nostres famílies, per estar sempre al nostre costat, per la seva paciència, i el seu suport incondicional. Gràcies per fer d'aquest camí una experiència més agradable.

