Universitat Autònoma de Barcelona

La tecnologia *blockchain* com a eina clau en la traçabilitat de la tonyina

Memòria del treball de final de grau

Grau de Veterinària

Autor: Regina Maria Edo Arderiu

Tutor: Carolina Ripollés Ávila

Revisió bibliogràfica

Febrer del 2023

Índex

1. Introducció 3
1.1 Resum 3
1.2 Objectius 3
1.3 Materials i mètodes 3
2. Recerca bibliogràfica 3
2.1 El sistema alimentari i les cadenes de subministrament 3
2.2 Traçabilitat 4
2.3 *Blockchain* 4
2.4 *Blockchain* a la industria alimentària 6
2.4.1 *Blockchain* i frau alimentari 6
2.4.2 *Blockchain* i compliment de normativa 7
2.4.3 *Blockchain* i registres i seguretat 7
2.4.4 *Blockchain* i problemes socials 8
2.4.5 *Blockchain* i confiança del consumidor 8
2.5 *Blockchain* en indústries pesqueres i en el maneig de la cadena de subministrament 8
2.6 Sistemes de traçabilitat de la tonyina basada en *blockchain* 10
2.7 Indústria de la tonyina 11
2.8 Cas real d'aplicació de *blockchain* en cadena de subministrament alimentària a Indonèsia: traçar la tonyina amb *blockchain* de la costa al plat 11
3. Case Study: Aplicació de *blockchain* per al control de la traçabilitat de tonyina vermella 12
4. Conclusions 14
5. Bibliografia 15

1. Introducció

1.1 Resum

Assegurar la traçabilitat de les cadenes de subministrament alimentàries és un repte per a totes aquelles parts implicades en els sistemes alimentaris. Aquesta resulta fonamental per a garantir la seguretat i la qualitat dels aliments i la transparència de tot el procés des de la granja a la taula. No obstant això, les cadenes de subministrament complexes i fragmentades presenten dificultats degut a la quantitat de membres i processos que la formen, un exemple de les quals és la cadena de subministrament dels productes del mar (McEntire & Kennedy, 2019). La tonyina, al ser un producte del mar de gran valor, concentra els esforços per desenvolupar sistemes que garanteixin una traçabilitat íntegre i transparent que permetin pràctiques segures, fiables i sostenibles social i ambientalment (Howson, 2020).

Una de les eines que ofereix possibilitats per gestionar la traçabilitat d'una manera eficaç i eficient és *blockchain*, l'estructura de la qual presenta característiques clau que, quan s'usen correctament proporcionen avantatges vitals que permeten la creació d'una base de dades immutable i transparent que ofereix solucions segures, ràpides i de confiança (Lin et al., 2021).

La tecnologia *blockchain*, emprada en plataformes específiques (i.e., Ethereum) ofereix la possibilitat d'automatitzar transaccions, el que ofereix una reducció substancial del temps necessari per a realitzar-les i suposa un guany en eficiència i una reducció del malbaratament dels aliments peribles com és el cas de la tonyina (Mearian, 2017). La transacció esmentada es fa a través de l'execució de contractes smart que estan constituïts per algoritmes que contenen codis escrits amb un llenguatge de programació específic que uneix a les dues parts en un acord, les condicions del qual, es troben pre-establertes entre ambdues. L'objectiu del contracte smart és realitzar la transacció sense la necessitat d'un intermediari i executar de manera descentralitzada la gestió dels processos d'empresa a empresa permetent a totes les parts participar directament en ells (Cook, 2018). Un cop executat i transmès a la xarxa, els altres usuaris de la cadena hi poden accedir a temps real i un cop verificada per aquests, passa a formar part de la cadena de forma permanent i inalterable (Creydt & Fischer, 2019).

Malgrat tot, encara són poques les empreses que l'utilitzen de manera rutinària ja que es troben en fases primerenques. Tot i així, el potencial per resoldre escletxes de les cadenes de subministrament com són el frau alimentari, el compliment de la normativa, la seguretat i els registres, els problemes socials i la confiança de consumidor està popularitzant *blockchain* i és probable que la tendència d'implementar-lo per part de les empreses vagi en augment (Galvez et al., 2018).

1.2 Objectius

L'objectiu principal d'aquest estudi és fer una recerca bibliogràfica de l'ús de *blockchain* al llarg de la cadena de subministrament de la tonyina, conèixer de manera general el seu funcionament i quins usos potencials té. D'altra banda, el segon objectiu és proposar un una aplicació real de *blockchain* per al maneig de la traçabilitat de la tonyina.

1.3 Materials i mètodes

Les bases de dades consultades han estat 6: Wiley, Springerlink, Scoppus, Agris (FAO), Google Scholar i xarxa de biblioteques de la UAB. Les paraules clau utilitzades han estat "Blockchain" AND "traceability" OR "transparency" OR "transparent" OR "trust" AND "seafood" OR "fish" OR "fishery" OR "fisheries" OR "tuna" OR "Thunnus". Els articles trobats han estat 23, 31, 25, 2, 17 i 24 respectivament, la suma dels quals ha estat 122. Els criteris d'inclusió han en primer lloc l'idioma, aquells que no estiguessin disponibles en català, castellà o anglès quedaven exclosos. En segon lloc, queden exclosos aquells articles anteriors al 2008, any a partir del qual sorgeix la tecnologia *blockchain* i queden inclosos la resta d'articles que exposin informació referent a les paraules clau. Per últim, s'ha estudiat un cas real d'aplicació de *blockchain* a la indústria de la tonyina a través de dades cedides per Frime S.A.

2. Recerca bibliogràfica

2.1 El sistema alimentari i les cadenes de subministrament

En l'última dècada, els consumidors són cada vegada més conscients i mostren una preocupació creixent en relació a la qualitat i la seguretat dels aliments (Amaral, 2021). Actualment, els

consumidors reflexionen envers el producte abans de comprar-lo, no només des del punt de vista de la nutrició sinó que paren atenció a la seguretat del producte, l'origen, l'autenticitat, la traçabilitat i altres factors que estan guanyant importància com són la sostenibilitat o el benestar animal. A més, la globalització de les cadenes alimentàries i la creixent complexitat dels sistemes alimentaris moderns estan canviant la relació que els consumidors tenen amb els aliments (Wu et al., 2021).

La Comissió Europea va presentar el Llibre Blanc de la seguretat alimentària al 2000 on es presentaven propostes que amb els anys han esdevingut una realitat, entre elles la de transformar la política alimentària de la UE en un instrument anticipador, dinàmic, coherent i global amb el propòsit de vetllar per un nivell adequat de salut de les persones i la protecció dels consumidors (Comisión de las comunidades europeas, 2000). A partir d'aquest es va crear l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA), l'objectiu primordial de la qual és aconseguir un nivell elevat de protecció de la salut dels consumidors mitjançant la seguretat alimentària, la qual permet recuperar i mantenir la confiança dels consumidors, que és el principal motiu de canvi de paradigma en el sector. De fet, la major transparència en tots els nivells de la política de seguretat alimentària és el fil conductor al llarg del Llibre Blanc (Comisión de las comunidades europeas, 2000).

Quan parlem de transparència, ens referim a un component crític dels sistemes alimentaris moderns. La transparència de la producció alimentària de la granja a la taula és crucial per informar a consumidors, autoritats i parts interessades de la cadena de subministrament de les característiques del producte que fan referència a l'origen, mètode de producció, ingredients i seguretat, qualitat, quantitat i aspectes de sostenibilitat i ètics del producte i processos. Aquesta és un factor clau per assegurar la traçabilitat alimentària i l'autenticitat. És per aquest motiu, que s'espera que les propostes de l'EFSA publicades a mitjans del 2022 facin incrementar l'eficiència de la transparència i l'efectivitat de la traçabilitat al llarg dels sistemes alimentaris (EFSA, 2022).

2.2 Traçabilitat

Entre els principis establerts en el Llibre Blanc, hi ha l'exigència de la política sanitària eficaç d'un sistema de traçabilitat dels aliments destinats al consum humà i animal i dels seus ingredients. La traçabilitat alimentària és l'habilitat de seguir el moviment d'un producte alimentari i dels seus ingredient a través de totes etapes de la cadena alimentària, ja sigui endavant, endarrere o bé de manera interna, tot i aquesta darrera no ser obligatòria (FDA, 2022b). En el cas d'un brot de toxoinfecció alimentària, el seguiment eficient del producte resulta una eina clau per actuar de manera ràpida reduint-se així les conseqüències derivades. Les regulacions existents de l'Administració d'aliments i medicaments (FDA, per les seves sigles en anglès) requereixen, d'igual manera que ho fa la Unió Europea i altres autoritats, el manteniment de registres de traçabilitat al llarg de gran part del sistema alimentari. No obstant això, aquestes resulten en moltes ocasions insuficients per vincular de manera efectiva els aliments en cada punt de la cadena de subministrament (FDA, 2022a).

És per aquest motiu, que un enfocament modern i coordinat de la traçabilitat que es pugi utilitzar i entendre al llarg de totes les etapes de la cadena és necessari per reduir malalties transmeses pels aliments, construir confiança en el consumidor i augmentar l'eficiència i la seguretat del procés. Una opció que actualment s'està popularitzant entre els sistemes alimentaris pel seu potencial per resoldre problemes de traçabilitat i garantir la transparència és la utilització de la tecnologia *blockchain* per emmagatzemar les dades en ordre cronològic de manera que siguin impossibles de manipular després (Al-Farsi et al., 2021). És precisament aquesta capacitat de permanència i immutabilitat el que fa de *blockchain* una eina molt útil per garantir la traçabilitat i l'autenticitat dels aliments.

2.3 *Blockchain*

La *blockchain* o cadena de blocs és un concepte relativament nou que ha rebut molta atenció en recerca per resoldre problemes de la cadena de subministrament d'aliments (Lin et al., 2021). *Blockchain*, va ser presentada per primera vegada per Nakamoto (2008) on explicava el protocol que utilitza actualment Bitcoin. Tot i que originalment *blockchain* va ser creada per a aquesta fi, amb el pas del

temps s'ha vist que les propietats d'aquesta tenen gran potencial en altres àmbits, tals com la banca, mercats financers, comptabilitat i cadenes de subministrament. Destacant l'aplicació en cadenes de subministrament i per tal de millorar la gestió de la informació del comerç d'aliments agrícoles, Wolfert (2018) va posicionar *blockchain* com la tecnologia bàsica del "cicle de gestió física de la xarxa de producció agroalimentària" conjuntament amb altres tecnologies com el internet de les coses, les anàlisis big data i la intel·ligència artificial.
La tecnologia *blockchain* és una base de dades distribuïda on cada usuari a la xarxa executa i registra transaccions agrupant-les en forma de blocs. Cada bloc conté un *hash* (i.e. el qual és un resum d'un conjunt de dades major) de la representació del bloc anterior, creant així una cadena (Creydt & Fischer, 2019). Per tant, l'historial de transaccions no pot ser eliminada o alterada sense invalidar la cadena. Aquesta és una de les propietats més importants que té aquesta tecnologia ja que qualsevol dada d'una transacció esdevé immutable. A més, *blockchain* és d'accés públic, dotant, així, de transparència qualsevol transacció on cada participant té potencialment la mateixa habilitat d'accedir i manipular la cadena de blocs.

Es fa referència a *blockchain* en moltes ocasions com la "següent evolució de internet" però essencialment és un llibre de transaccions, distribuït digitalment i incorruptible. Com hem dit, es pot definir com una tecnologia que incrementa la confiança i la transparència en un sistema emmagatzemant totes les transaccions d'una manera descentralitzada (Cook, 2018). Tothom en el sistema és capaç de comprovar aquestes transaccions i verificar la seva exactitud (veure **figura 1**). Degut a que agregar totes les transaccions una per una prendria temps infinit, *blockchain* ho agrupa i verifica abans d'agregar-se a la cadena de blocs. Ens referim a "transacció" quan s'involucren contractes, registres o qualsevol altre tipus d'informació de valor. A través d'una sèrie d'algoritmes criptogràficament segurs, múltiples usuaris de la cadena de blocs (i.e. el que fa referència a ordinadors individuals connectats a internet) validen la transacció en un procés conegut com "protocol de consens". Aquesta transacció es combina en un bloc de dades, el qual forma una cadena de registres mantingut simultàniament sobre milers d'usuaris distribuïts, creant d'aquesta manera una cadena de blocs o *blockchain* que és permanent i inalterable (Creydt & Fischer, 2019).

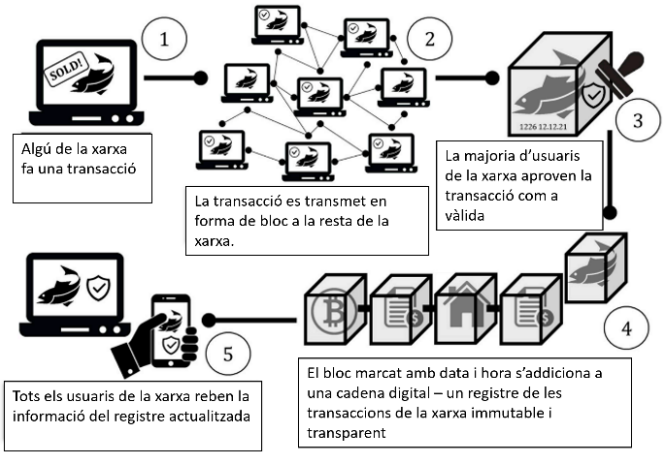

Figura 1. Esquema de les etapes que comprèn una transacció feta amb *blockchain*. (Adaptat de: Howson et al., 2020)

És important destacar que les diferents parts implicades en una cadena de subministrament no treballen de manera simultània alhora de realitzar transaccions, és a dir, només un usuari té la capacitat de fer canvis o verificar-los a la vegada, bloquejant a la restat abans no s'hagi completat l'anterior acció i això suposa una demora de temps significativa. Una cadena de subministrament basada en *blockchain* té potencial perquè les diferents parts implicades tinguin la capacitat de treballar a temps real, de manera simultània i s'estalviïn la dilació que suposa enviar, verificar i autoritzar una transacció de comerç, que en el cas que fos internacional seria d'entre 7 i 10 dies. Una prova pilot duta a terme per BBVA amb col·laboració amb Wave va utilitzar *blockchain* per automatitzar l'enviament de documents en una transacció d'importació-exportació entre Europa i Amèrica Llatina. Gràcies a la solució proposada per Wave, la qual va utilitzar *blockchain*, BBVA va ser capaç de reduir el temps necessari que requereix enviar, verificar i autoritzar una transacció de comerç internacional a només 2,5 hores, el que suposa un estalvi de temps de més d'una setmana (Fernandez Espinosa, 2017).

Hi ha diferents tipus de cadenes de blocs, a mode d'exemple s'explica a continuació com funciona Ethereum, que és una plataforma de software oberta basada en *blockchain*. *Ethereum*, tal i com s'ha discutit anteriorment, està formada per una xarxa global i descentralitzada d'ordinadors connectats

uns amb altres mitjançant unes normes compartides anomenades protocol de consens. Totes les transaccions s'actualitzen i registren de manera automàtica en aquest llibre de transaccions digital. A més, és una màquina virtual completa, que significa que teòricament pot calcular qualsevol cosa si es té memòria disponible suficient. Això permet a Ethereum executar codis de contractes smart avalats col·lectivament per milers d'ordinadors del món (Yao & Zhang, 2022) i permet reduir el temps que suposa la realització completa d'una transacció ja que, a l'executar aquests contractes smart s'unifiquen els passos d'aquesta alhora que es deixa constància per a la resta d'usuaris de la cadena.

Un contracte smart comprèn un acord i la seva execució. De la mateixa manera que qualsevol contracte legal, consisteix en una oferta, l'acceptació de l'oferta i algunes consideracions relatives a l'intercanvi acceptades per les dues parts. Aquests tipus de contractes estan escrits amb llenguatge de programació específic i permet als programadors crear un codi que lliga a les dues parts en un acord, sense la necessitat d'un intermediari (Prashar et al., 2020). Ni la producció de l'acord ni el codi per si mateix es poden alterar a la cadena de blocs, aquesta està datada, és auditable i immutable. El fet que no existeixi intermediari suposa un dels beneficis més cabdals d'aquesta tecnologia, ja que facilita de manera descentralitzada la gestió dels processos d'empresa a empresa permetent a totes les parts participar-hi directament. A més, possibilita auditar cada procés, així com el seu compliment conforme a les regles empresarials establertes per la comunitat a la xarxa (Prieto et al., 2022).

Tanmateix, tot i els grans avantatges que presenta aquesta tecnologia, també existeixen limitacions, una de les quals és la manca de privacitat de les cadenes. No hi ha usuaris privilegiats i cada participant pot accedir a tota la informació de la cadena quan aquestes són públiques. Tanmateix, aquestes tenen límits en la quantitat de dades, la taxa de processament de la transacció i la latència de transmissió de dades (Qinghua & Xiwei, 2017). Altres barreres i reptes que *blockchain* encara presenta, fan referència a les dificultats d'adopció de la tecnologia, i la manca d'experiència especialment de petites i mitjanes empreses. També són impediments la limitada oferta d'educació i plataformes de formació en aquesta i el cost elevat que suposa la implementació de la tecnologia i l'equip requerit sobretot per aquelles empreses amb menys recursos. Per altra banda, és important esmentar que no existeixen regulacions clares i específiques sobre el seu ús, i a més, la divisió digital entre països desenvolupats i en desenvolupament és cada vegada més evident, ja que projectes per la implementació de *blockchain* es desenvolupen principalment en països del primer món (Kamilaris et al., 2019).

Amb tot, allò que fa que *blockchain* hagi esdevingut altament útil és la capacitat per intensificar la seguretat, la transparència i la descentralització al registrar transaccions; Aquesta qualitat de registrar-les de manera segura, immutable i verificable significa que pot aplicar-se a la traçabilitat dels aliments al llarg de la cadena de subministrament incrementant-ne l'eficàcia i l'eficiència.

2.4 *Blockchain* a la indústria alimentària

L'ús de tecnologia en la traçabilitat alimentària té potencial per abordar les 5 qüestions primàries de les cadenes de subministrament que corresponen al frau alimentari, la seguretat alimentària, el compliment de la llei, els problemes sobre assumptes socials i la informació que rep el consumidor. *Blockchain* en la traçabilitat alimentària és útil sobretot en cadenes de subministrament fracturades i diverses que passen per moltes etapes abans no arriben al consumidor i hi estan implicades moltes parts interessades, tals com productors, proveïdors, minoristes i majoristes. Un exemple són les complexes i fracturades cadenes de subministrament del peix i el marisc (McEntire & Kennedy, 2019). A continuació, es discutiran tals qüestions i quina capacitat té *blockchain* per resoldre-les.

2.4.1 *Blockchain* i el frau alimentari

Blockchain resulta de molta utilitat per prevenir el frau alimentari, l'interès del qual, està creixent degut a mètodes de detecció millorats i una major informació de traçabilitat requerida. La iniciativa de frau alimentari de l'Estat de Michigan descriu les activitats de frau com "adulteració, etiquetat incorrecte, manipulació o alteració, excés o frau del titular, robatori, desviament, simulació i falsificació" (McEntire & Kennedy, 2019). Tot i que el frau alimentari pot no ser intencionat, els

incentius econòmics freqüentment condueixen a la manipulació dels aliments i/o informació al llarg de la cadena de subministrament. Aquest fet pot combatre's mitjançant *blockchain*, ja que aquesta crea un registre datat, inalterat i distribuït que permet un procés d'auditoria més senzill per tal d'investigar el frau alimentari en el cas de sospita. La seguretat d'una cadena de subministrament, tal com s'ha remarcat, requereix d'un sistema transparent i *blockchain* assegura que parts implicades de la cadena no puguin canviar dades entrades per altres participants sense el consentiment o el coneixement del propietari inicial d'aquestes (Soesanto & Prijambodo, 2022). D'aquesta manera seria senzill autenticar transaccions o conèixer les parts implicades responsables en cas de frau o incompliment. Un cas particular d'ús de *blockchain* en el frau alimentari és l'estudi de Provenance (2016), el qual es comentarà posteriorment, que està relacionat amb els productes del mar, específicament amb la venta i el consum de pesca il·legal, no declarada ni regulada, donada la dificultat de tenir un únic i interoperable registre que acompanyi aquests productes a través de la cadena de subministrament.

2.4.2 *Blockchain* i el compliment de la normativa

El compliment de la normativa porta implícita una bona traçabilitat que garanteixi l'acompliment de criteris establerts per les autoritats alimentàries. La tecnologia *blockchain* pot resultar un punt d'inflexió per les empreses, ja que té el potencial d'ajudar a les organitzacions a complir certs criteris i certificacions basades en les polítiques dels governs per processos, productes i activitats en les xarxes de les cadenes de subministrament. Això, al seu torn simplifica el procés de presentació d'informes a les agències reguladores en cadenes de subministrament complexes mitjançant una base de dades descentralitzada (Yousefi & Mohamadpour Tosarkani, 2022). Fruit dels beneficis que ofereix aquesta tecnologia, diverses empreses estan duent a terme esforços per aplicar-la suavitzant així els processos de verificació i transacció en diversos punts de les cadenes de subministrament. Sobretot si es tracta de cadenes amb caràcter internacional, ja que aquests processos impliquen nombrosos intermediaris i documents en paper a causa de la manca d'informació fiable i de compliments normatius (Mearian, 2017). És per aquest motiu, que, vinculant a totes les parts que formen part de la cadena incloent a les entitats governamentals com a usuaris a les xarxes de *blockchain* permet que la informació requerida per a la verificació i els processos de compliment normatiu es comuniquin de manera fàcil i ràpida (veure **figura 2**) eliminant d'aquesta manera els documents en paper i els retards (Sahoo, 2017). Una prova pilot per avaluar el potencial de *blockchain* en el compliment de la normativa i l'eficiència del procés va ser duta a terme per Maersk i IBM (2017) per tal de coordinar els fluxos de processos en diferents punts de la cadena. El procés d'enviament internacional va implicar 30 entitats intermediàries i 200 peces d'intercanvi d'informació. Totes les entitats implicades van participar com a usuaris de *blockchain* en el projecte i els resultats van indicar millores significatives en termes de reducció de la durada del procés i malbaratament de productes peribles per l'escurçament de la durada dels processos (Mearian, 2017; Nandi et al., 2020; Sahoo).

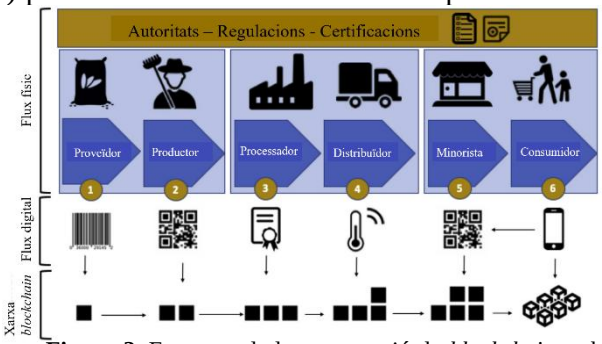

Figura 2. Esquema de la construcció de *blockchain* amb dades de les diferents etapes (Adaptat de: Kamilaris, et al. 2019)

2.4.3 *Blockchain* i els registres i seguretat

La seguretat alimentària en les cadenes de subministrament és una prioritat per cada un dels països i això és resultat de l'important paper que juguen les cadenes alimentàries modernes en l'economia i la societat (Jarka, 2019). És per aquest motiu, que aquesta és una de la aplicacions més útils d'aquesta tecnologia, per l'impacte que suposa que la seguretat es vegi compromesa tant per l'operador responsable com per les conseqüències que se'n deriven. Una malaltia transmesa pels aliments, pot destruir la reputació de grans empreses al relacionar-se amb riscos per la salut pública (McEntire i Kennedy, 2019). A més, tindrà efecte fins i tot en altres empreses degut a que els compradors desenvoluparan por i desconfiança d'aquell producte o regió afectats pel brot. En aquest àmbit, la tecnologia *blockchain* proveeix d'una infraestructura descentralitzada encara que unificada per traçar aliments al llarg de la cadena de subministrament (Tian, 2017).

Per donar suport a aquest ideal de traçabilitat completa i íntegra des de l'origen al consumidor és necessària construir una arquitectura de dades permetent un cost baix per a cada soci individual de la cadena de subministrament, responsabilitat compartida en l'administració de dades, interoperabilitat directa i seguretat en el registre (Al-Farsi et al. 2021). Aquestes característiques són les que posseeix *blockchain*, les transaccions de la qual tenen un baix cost i permeten reduir els obstacles per habilitar la traçabilitat, fet que és favorable als proveïdors, que són aquells que tenen els marges més estrets de benefici i els recursos limitats per adquirir noves tecnologies. El fet més important és que la auditabilitat i la seguretat de *blockchain* permet un accés ràpid a l'historial i pot automatitzar la majoria dels processos manuals dels registres millorant-ne així l'eficiència (Nandi et al., 2020).

2.4.4 *Blockchain* i els problemes socials

La incorporació de les dimensions econòmiques, socials i ambientals a la gestió de la cadena de subministrament és imprescindible per millorar el sistema de subministrament actual i augmentar la seva resiliència davant de diverses incerteses en el desafiant món empresarial actual (Erol et al., 2022). En les cadenes de subministrament, *blockchain* pot proporcionar informació sobre l'origen dels béns. Això resulta beneficiós per les empreses ja que la vigilància sobre l'origen de les mercaderies en les seves cadenes de subministrament és sovint limitada, especialment quan es tracta d'aprovisionament transfronterer (Boersma i Nolan, 2020). Això suposa el risc que les empreses es vinculin amb problemes socials actuals tals com l'esclavitud moderna (Boersma i Nolan, 2020), que inclou, entre d'altres, treball forçat, és a dir treball no voluntari sota amenaça de càstig, tràfic i esclavitud infantil (Nolan i Boersma, 2019). Un dels sectors implicats en aquest tipus de problemes socials és el dels productes del mar (Howson, 2020). La preocupació per part dels països està fent desenvolupar projectes per solucionar-ho i alguns d'aquests compten amb *blockchain* per la seva capacitat de transparència i verificació a temps real sense necessitat d'intermediaris.

2.4.5 *Blockchain* i la confiança del consumidor

Blockchain està guanyant importància en la informació que rep el consumidor dels productes alimentaris que adquireix (Kamilaris et al., 2019). Això és important ja que, el consumidor mostra una preocupació creixent pel que fa l'origen, la producció i la cadena de subministrament dels productes que consumeix. El consumidor amb el temps s'ha anat fent més exigent, el que ha produït que es defineixi com a preocupat per la salut i informat sobre allò que menja. La majoria de les empreses són conscients d'aquesta demanda dels consumidors i es troben davant d'un gran repte. Una possibilitat per afrontar-lo és *blockchain* unificant els extrems de la cadena de subministrament proporcionant informació transparent, fàcilment accessible i immutable per tal de satisfer la demanda dels consumidors d'estar informats d'allò que compren (Treiblmaier & Garaus, 2022).

Finalment, és important remarcar que tot i que *blockchain* representa una eina útil per solucionar un dels problemes més rellevants de la indústria alimentària com és la traçabilitat dels aliments (Treiblmaier i Garaus, 2022), no és la solució única i ideal per la situació del sector avui en dia. Això és degut a diferents motius, el principal dels quals, fa referència a que aquelles empreses que utilitzen *blockchain* es troben encara en etapes molt primerenques i aquelles que encara no l'utilitzen no ho fan per factors aliens a la tecnologia. A més, la *blockchain* s'enfronta encara amb inconvenients que ha de solucionar com són l'establiment d'un govern i marcs legals efectius abans que es comenci a implantar de manera rutinària en cadenes de subministrament (Sulkowski, 2018). Amb tot, el potencial per millorar la traçabilitat mitjançant la transparència, interoperabilitat i desinstitucionalització pot resultar inestimable per trobar solucions als problemes que presenta la traçabilitat dels aliments, sobretot en les cadenes de subministrament més complexes com són les dels productes del mar.

2.5 *Blockchain* en indústries pesqueres i en el maneig de la cadena de subministrament

Cada vegada més, els experts veuen la completa traçabilitat i transparència de la cadena de subministrament com la única manera d'assegurar que no entren contínuament productes il·legals, no

ètics o problemàtics (Howson, 2020). Tot i això, aquest no és l'únic repte al que la indústria pesquera s'enfronta i existeixen encara obstacles que fan del sector una indústria complexa.

El peix i els productes de la pesca són un bé de consum global. Un peix capturat és possible que impliqui a nombrosos actors de la cadena de subministrament entre entitats i intermediaris i es sotmeti a múltiples processos abans d'arribar al seu destí final, el qual és probable que es trobi a milers de quilòmetres de distància (Cook, 2018). És per aquest motiu que la traçabilitat esdevé un factor clau en les cadenes de subministrament dels productes del mar, que a més de ser d'alta complexitat presenten característiques específiques com és el fet de manejar aliments altament peribles (Kresna et al., 2017).

La traçabilitat es duu a terme de manera que la informació es manté en silos emmagatzemats per participants de la cadena de subministrament de manera separada de forma que és virtualment impossible de traçar total o efectivament un producte del mar des del seu origen fins al destí final (Cook, 2018). Aquest ecosistema incert de la cadena de subministrament permet a alguns accedir i explotar-les sense estar subjecte a normes legals i ètiques reconegudes (Howson, 2020). Anàlisis i medis associats han destacat activitats il·legals, no declarades i no regulades (IUU: il·legal, unreported, unregulated) en la indústria de la pesca incloent la sobrepesca i el frau (Howson, 2020). De fet, un estudi realitzat per Oceana als Estats Units va demostrar que més del 59% de les mostres de tonyina estaven mal etiquetades (Mims, 2013). Com a resultat de tot això, la indústria pesquera mundial s'enfronta a crítiques sense precedents i a una disminució de confiança entre els consumidors.

Una cadena de subministrament íntegra, transparent i traçable facilitada per *blockchain*, pot solucionar potencialment el problema de la pesca IUU (FAO, 2022), resultant en compradors i consumidors ben informats capaços de prendre decisions comercials basades en informació verificable, augmentant així la seva confiança (Howson, 2020). A més, proporciona una plataforma per tal que les autoritats reguladores identifiquin i abordin els riscos potencials associats (Patro et al., 2022).

En la indústria de la pesca, les autoritats reguladores i altres organitzacions no governamentals han desenvolupat diferents iniciatives i sistemes per tal d'aconseguir una bona traçabilitat dels productes. Aquests esforços s'han centrat en el desenvolupament de sistemes que abordin els principals factors de les cadenes de subministrament, des de la procedència fins a la verificació d'atributs. Per tal de clarificar els rols i responsabilitats de la traçabilitat, una iniciativa del sector juntament amb ONGs, anomenada "*Global Dialogue on Seafood traceability (GDST)*", ha desenvolupat estàndards i definicions al voltant d'assegurar la traçabilitat de les cadenes de subministrament dels productes de la pesca (Global dialogue on Seafood Treacebility, 2022). El GDST va publicar al 2022 els estàndards on es reconeixia la necessitat diària d'un accés ràpid a informació verificable dels productes i que les noves tecnologies digitals permetien fer la traçabilitat més possible i assequible que mai (Global dialogue on Seafood Treacebility, 2020). Aquests estàndards no imposen una solució única però remarquen el potencial que tenen tecnologies tipus *blockchain*. L'objectiu d'aquests és, en última instància, beneficiar l'ecosistema dels productes de la pesca des de la producció, màrqueting i perspectiva de gestió de la cadena de valor (Cook, 2018). Aquests beneficis inclouen, entre d'altres, protecció de la salut pública, reforç de pràctiques sostenibles, augment de la confiança dels consumidors, garanties de qualitat i eficiència de la cadena de valor o millor compliment normatiu.

La indústria de la pesca, es tracta d'un sector que es resisteix al canvi (Cook, 2018; Mnatsakanyan et al., 2021). No obstant això, la necessitat d'una revolució digital és cada vegada més evident pel següent motiu: no és possible incrementar la rendibilitat mitjançant un augment de volum de producte ja que prop del 90% de les poblacions de peix es troben totalment pescades o sobreexplotades (Ramsden, 2018). Per tant, l'única manera d'obtenir guanys econòmics és proveir de millores en el valor global de les pesqueries i això fa referència inevitablement a millores en l'eficiència de la cadena de subministrament, i aquesta no pot assegurar-se sense una traçabilitat total (Galvez et al., 2018).

Contemplant les oportunitats que ofereix la digitalització del sector (FAO, 2022), ja hi ha parts de la indústria que han centrat els esforços en desenvolupar sistemes de traçabilitat electrònica, dissenyats per capturar dades clau en diferents punts de la cadena de subministrament amb l'objectiu d'aconseguir la traçabilitat total. Aquestes parts de la indústria van des d'empreses privades, fins a

iniciatives dutes a terme per ONGs. Tanmateix, la majoria d'aquests sistemes o serveis, depenen d'un sistema centralitzat i de la confiança implícita en l'autoritat de gestió per a les dades i verificació facilitades (Cook, 2018). És aquí on la recent innovació de *blockchain* pot proporcionar una millora substancial, no només assegurant la traçabilitat, sinó proporcionant la confiança inherent en aquesta, per ser un sistema descentralitzat. L'augment de popularitat i l'adopció de tecnologies digitals en diferents sectors ja ha millorat l'escala de sistemes eficients de traçabilitat de productes. Les eines de seguiment i rastreig més àmpliament adoptades són els codis "*Near Field Communication* (NFC)", "*radio-frequency identification* (RFID)" i "*Quick Response* (QR)" (Cook, 2018; Patro et al., 2022). Per contra, aquestes eines i tècniques són inefectives en el tractament de dades fragmentades malgrat la seva facilitat d'ús i d'implementació (Patro et al., 2022).

És important recalcar que les cadenes de subministrament de la pesca gestionen una gran varietat d'espècies globalment. Això vol dir que els actors al llarg de la cadena s'enfronten a problemes importants en la gestió de dades fragmentades, la gestió de l'asimetria de dades i el manteniment del compliment normatiu (Trace X techonologies, 2021). Quan un producte és retirat, la manca d'un sistema de traçabilitat eficient pot dificultar el procés d'identificar qui ha estat afectat (McEntire i Kennedy, 2019). Un cop més, la tecnologia *blockchain* té la capacitat de solucionar aquests problemes que presenta la indústria pel fet d'ajuntar totes les parts de la cadena de subministrament sota una plataforma única proporcionant una solució factible garantitzant la traçabilitat.

Mentre que diferents organitzacions i empreses ja han implantat la tecnologia *blockchain,* fer-ho de manera íntegra i eficaç no és un repte fàcil. Un exemple n'és l'etapa del processament del peix, ja que encara existeixen forats difícils de cobrir. Al processar el peix es treuen els codis QR i les etiquetes RFID, que són eines clau per garantir la traçabilitat (Cook, 2018). Això dona peu a l'adulteració d'espècies i la falsificació durant el processat. Així, els defraudadors aprofiten aquestes ocasions per cometre frau canviant espècies d'alt valor per altres de baix valor (Gopi et al., 2019; Patro et al., 2022).

Una altra dificultat a tenir en compte és la diferenciació del peix capturat salvatge del de granja durant el processament d'aquests peixos, quan hi ha una instal·lació comuna de processament del peix (Gopi et al., 2019). Per tal de demostrar que no existeix frau alimentari, les tècniques moleculars com la PCR han demostrat ser un mètode fiable per determinar els detalls genètics de les espècies de peix per identificar el seu origen (Mafra et al., 2008). *Blockchain* fa possible l'addició de dades d'aquest tipus per part dels operadors que un cop verificades pels altres membres de la xarxa quedaran permanentment registrades.

En l'estudi de Patro et al. (2022) es proposa un exemple que exposa les millores que pot aportar aquesta tecnologia al sector mitjançant una *blockchain* privada d'*Ethereum* com a mètode eficaç i íntegre de traçabilitat. L'objectiu és manejar les operacions de la cadena de subministrament de productes de la pesca d'una manera descentralitzada, transparent, segura i fiable. Per fer-ho, presenta una arquitectura de sistemes i uns diagrames de seqüències que expliquen les interaccions entre les parts implicades en les diferents operacions. Proposa 10 algoritmes que es reparteixen en 5 contractes smart o intel·ligents, l'execució dels quals porta a la realització de les transaccions de manera automatitzada. L'estudi l'integren vuit parts implicades, entre elles la FDA, la feina de la qual és registrar els usuaris i assegurar-se que estan en compliment de la normativa. També és l'encarregada d'imposar sancions en el cas que els participants no compleixin amb els estàndards. Més endavant es proposarà un cas d'estudi real seguint el model proposat per l'article analitzat.

2.6 Sistemes de traçabilitat de la tonyina basada en *blockchain*

Com ja s'ha mencionat anteriorment, *blockchain* es fa servir per registrar transaccions de productes de valor i aquest és el cas de la tonyina. La cadena de blocs s'està utilitzant per millorar la traçabilitat de la tonyina per tal d'ajudar a frenar les pràctiques pesqueres il·legals i no sostenibles a les indústries de tonyina de les illes del pacífic (Visser i Hanich, 2018).

Tot i que originalment els mecanismes de traçabilitat estaven destinats a facilitar la retirada de productes per tal de garantir la seguretat alimentària, progressivament s'han aprofitat per combatre la recol·lecció il·legal de productes de la pesca i l'etiquetatge erroni d'aquests. A més, també ha ajudat

a abordar les preocupacions per la sostenibilitat a la llum d'uns recursos marins cada dia més escassos (Auethavornpipat, 2021). Com a conseqüència, tant proveïdors com comerciants estan cada vegada més subjectes a credencials de sostenibilitat. Per tant, per tal d'assegurar tant la credibilitat pròpia com, per extensió, la credibilitat de cadenes de valor d'operadors relacionats, hi ha una forta responsabilitat de mantenir una traçabilitat íntegrament transparent a través de la cadena de valor (Roheim et al., 2018). Mentre que les diferents empreses estan desenvolupant programes de traçabilitat millors a través de diferents sistemes, organitzacions com la WWF està desenvolupant sistemes tecnologia *blockchain* per rastrejar i fer un seguiment del viatge de la tonyina des del mar fins al plat (Auethavornpipat, 2021; Cook, 2018).

Al 2019 es va formar l'Aliança Global de la Tonyina (GTA) per part d'empreses vinculades a la cadena de subministrament de la tonyina, governs nacionals i societat civil que junts van recolzar l'aprovació de la Declaració de traçabilitat de la tonyina 2020 del Fòrum Econòmic Mundial (The Ocean conference, 2020). La declaració es va dur a terme amb el compromís de frenar la pesca IUU i millorar la salut de les poblacions de tonyina a nivell global. La premissa inicial de la declaració va ser que la millora de la traçabilitat i transparència contribuiria a millorar significativament les iniciatives de sostenibilitat existents. La traçabilitat és l'eix vertebrador del control i la transparència (Thorpe et al., 2022) i és per aquest motiu que els esforços es focalitzen en desenvolupar tecnologies per millorar-la, entre elles *blockchain* (Yousefi i Mohamadpour Tosarkani, 2022).

2.7 Indústria de la tonyina

Els túnids, com se'ls coneix a aquesta família que pertany als escòmbrids, són espècies marines pelàgiques i migratòries que s'organitzen en grans bancs en els oceans Atlàntic, Pacífic i Índic. La seva àmplia àrea de distribució permet una gran estacionalitat i per tant, disponibilitat tot l'any. Les captures mundials de les principals espècies de tonyina, segons dades de la FAO van ser de més de 5 milions de tones al 2013, volum que s'ha mantingut durant l'última dècada. La tonyina, per tant, representa una riquesa comú a nivell mundial i és per aquest motiu que és necessari realitzar el màxim esforç per protegir-la i promoure totes les mesures necessàries per realitzar una activitat sostenible.

Els principals productors de tonyina segons la FAO són Indonesia, Japó, Filipines i Taiwan. Espanya és el següent en cinquena posició i les seves captures de tonyina representen un 6% de les captures mundials. Espanya i la seva potent indústria tonyinera està centrant esforços en aconseguir la traçabilitat total de la cadena de subministrament des del mar fins al consumidor. Diverses empreses estan desenvolupant tecnologies per tal d'assolir solucions interoperables que garanteixin la transparència i la sostenibilitat, un exemple n'és (*i.e.*, Balfegó S.L.), el sistema de traçabilitat del qual, és pioner en el món del peix i permet a través d'un mòbil i un QR facilitat en cada ració, accedir a la informació sobre la tonyina vermella que s'està comprant o degustant. A més, permet conèixer la data de captura, pes, longitud o nivell de greix, a més dels certificats sanitaris i de qualitat (El economista, 2022). Tot això amb ànim de garantir la transparència, seguretat alimentària, legalitat i sostenibilitat alhora que s'informa al consumidor i s'estalvia un gran procés de documentació.

No obstant això, encara hi ha molts països que necessiten una renovació del sistema de traçabilitat per tal de poder seguir garantint els estàndards necessaris. Això és degut en part a la poca digitalització que té el sector i un exemple clar n'és Indonèsia, el principal productor de tonyina a nivell mundial. En el següent apartat es comentarà la prova pilot que es va dur a terme en aquest país, en el qual es va proposar *blockchain* per transformar els sistemes de traçabilitat de tonyina existents.

2.8 Cas real d'aplicació de *blockchain* en cadena de subministrament alimentària a Indonèsia: traçar la tonyina amb *blockchain* de la costa al plat

L'estudi es va dur a terme per Provenance (2016), el qual va proposar una prova pilot de 6 mesos de durada on es va reunir als caps de 8 indústries de pesca de tonyina indonèsies juntament amb els seus directors generals i els encarregats del departament de qualitat. L'objectiu principal era reactivar el declivi de la pesca amb canya i línia o línia de mà, millorant la rendibilitat dels comptes i les dades fiables sobre els estàndards socials en origen. Recollint i analitzant dades, totes les companyies

visitades utilitzaven bolígraf i paper per tenir constància del material que entra i surt de les fàbriques, amb alguns informes Excel amb finalitats governamentals, enviats per correu electrònic un cop completats. Només una companyia tenia constància digital i per això era l'única capaç d'assolir comerç just de peix. En aquest estudi, es va detectar l'oportunitat de transformar el sector i van demostrar com la tecnologia *blockchain* podia fer les dades interoperables al llarg de tota la cadena i entre diferents participants i sistemes.

L'estudi va comptar amb 3 etapes. En la primera etapa, es va treballar amb pescadors locals per tal de recollir dades de la pesca i traçar-les cap als proveïdors. Els pescadors enviaven la informació amb un simple SMS per registrar la captura, d'aquesta manera emetien un nou actiu a *blockchain* amb cada SMS. Acompanyats per una identificació única i permanent aquests actius es transferien dels pescadors cap als proveïdors junt amb la captura, tant en transaccions físiques com en el registre digital a *blockchain*. En aquest punt els ítems que originalment eren dels pescador es vinculen als proveïdors. Les identitats dels pescadors també es guardaven de manera permanent i immutable a *blockchain*. Les condicions socials i ambientals en el moment de la captura eren verificables a través de ONGs fiables. Els sistemes d'auditoria d'aquestes validaven el compliment normatiu d'un estàndard extern resultant en la seva elegibilitat per participar en la cadena de custodia validada per la procedència. Utilitzant un explorador de *blockchain*, era possible verificar que el contingut de l'actiu digital que representa l'ítem estava a la cadena de blocs. La segona fase es va centrar en la interoperabilitat de les dades utilitzades prèviament per les empreses ja existents. En aquest punt era important que tots els productes anessin acompanyats d'identificadors únics, ja fos per mitjà de codis QR o etiquetes RFID, per poder validar la informació recollida. Aquesta etapa és molt important ja que el producte havia estat transformat i les dades feien referència a un mateix producte que havia pres diferents camins en la seva producció o transformació. No obstant això, *blockchain* permetia que amb un mateix sistema de dades es pogués seguir els camins d'un mateix producte original. La tercera i última fase, es va centrar en com la informació des de l'origen i al llarg de la cadena de subministrament podia arribar als compradors creant d'aquesta manera una relació de confiança entre productor i consumidor. Per aquesta fi es van afegir etiquetes intel·ligents al producte final per ser llegides a través del *smartphone* del consumidor posant en coneixement la història del producte des de la pesca passant per tota la cadena fins a l'adquisició. Això va ser possible gràcies a que tota la informació va quedar registrada de manera permanent i immutable a la xarxa *blockchain*.

3. Case Study: Aplicació de *blockchain* per al control de la traçabilitat de la tonyina vermella

A continuació es planteja un cas d'estudi realitzat a Frime S.A, una empresa que es dedica a la compra, emmagatzematge, transformació i venta d'aliments frescos i congelats de la categoria 4638 que fa referència al comerç majorista de peixos, mariscs i altres productes alimenticis. Frime S.A. és una empresa líder europea en la venta de tonyina d'aleta groga i és capdavantera en la sostenibilitat i la qualitat dels seus productes. Per poder desenvolupar el present cas s'aportaran dades reals facilitades per aquesta empresa d'una forma desinteressada amb la finalitat acadèmica de poder realitzar aquesta part pràctica del treball.

Tal i com s'ha assenyalat de forma general, Frime S.A. és una empresa del sector de la pesca que treballa amb diferents espècies de tonyina, entre elles la tonyina vermella, el nom científic de la qual és *Thunnus thynnus*. El proveïdor de la matèria primera en el present cas és l'empresa Balfegó S.L.

Frime S.A. compra en data 19 de desembre de 2022 un total de 545,60 kg de tonyina vermella en dues caixes de 280,00 kg i 265,60 kg (**Taula 1**). La comanda va sota el número d'albarà 65891.

Taula 1. Dades referents a la compra d'una partida de tonyina vermella on s'indica el codi de la caixa, l'article, el número de lot o precinte i la quantitat.

Caixa	Article	Lot/ Nº precinte	Quantitat
BOX22106755	AFABC0003 Tonyina fresca HG + 100 *Thunnus thynnus*	221219653	280 kg
BOX22106809	AFABC0003 Tonyina fresca HG + 100 *Thunnus thynnus*	221219737	265,60 kg

Un cop l'empresa fa la transacció i obté la quantitat de peix comprada, el processa, el fa a lloms, l'envasa i el ven a distribuïdors i minoristes. En aquest cas, reparteix els 545,60kg entre 38 minoristes o distribuïdors, dels quals es posarà el focus en una venta de 8,14 kg amb destí al prat de Llobregat en data 22 de desembre 2022 (**Taula 2**).

Taula 2. Dades referents a un lot de tonyina on s'especifica el número d'albarà, el producte, el lot, la data, la quantitat i el número de caixes.

Albarà	Producte	Lot	Data	Quantitat	Nº caixes
A04/1191580	Llom de tonyina vermella	1235422401	22/12/2022	8,14	2

De tots els integrants de la cadena, l'estudi es focalitzarà en el processador i el distribuïdor o minorista però sempre tenint en compte que són dues parts interessades de totes les que formen la cadena de subministrament i que cada acció duta a terme serà notificada a la resta mitjançant el sistema.

Per realitzar les transaccions necessàries des de la compra de la comanda per part del proveïdor fins a la venda al minorista, es proposa en el present cas estudi establir la traçabilitat amb arquitectura de sistemes basat en l'article científic de Patro, et al. (2022) que combina la tecnologia *blockchain* amb contractes intel·ligents o "smart" basats en Etherum, plataforma de codi obert que permet l'execució d'aquests. Aquests contractes intel·ligents desencadenen esdeveniments quan s'inicien les seves funcions. Es nombraran un seguit de funcions que a l'iniciar-se duran a l'execució dels contractes intel·ligents per sí mateixos sense la necessitat de terceres persones que els interpretin ni els validin. L'execució d'aquests és autònoma i immediata i treballa a favor i d'acord amb allò estipulat per les dues parts implicades en el contracte. En aquest cas hi ha dos contractes: en primer lloc, entre l'empresa de cria (*i.e.*, Balfegó S.L) i la processadora (*i.e.*, Frime S.A) i en segon lloc, entre l'empresa processadora (*i.e.*, Frime S.A) i la distribuïdora o minorista (*i.e.*, empresa situada Prat de Llobregat).

Primer de tot, és important remarcar que totes les parts interessades, entre elles l'empresa de cria, processadora, distribuïdora o minorista, han d'estar registrades al sistema de *blockchain* per la FDA, que actua com una autoritat reguladora. Cada una d'aquestes parts tindrà un codi d'identificació utilitzat en totes les transaccions mitjançant el qual es permet fer un seguiment i genera transparència.

L'empresa Frime S.A, la qual és processadora, fa una compra de tonyina vermella per dur a terme el seu exercici empresarial. El primer que ha de fer és desplegar el contracte smart que fa referència a les empreses de cria i utilitzar la funció "*RealitzarOrdreCompraPeixFresc*" per tal de demanar allò que desitja. Un cop feta i executada la funció, es genera una ID de compra del peix de granja, que inclou detalls com l'adreça d'Ethereum d'ambdues parts, l'espècie de peix i la quantitat que es demana, en aquest cas *Thunnus thynnus*, 545,60 kg. Un cop Balfegó S.L. rep la ID, l'accepta i per tant actualitza l'estat utilitzant la funció "*ConfirmarOrdreCompraPeixFresc*". En aquest moment, Balfegó S.L. començarà a preparar l'enviament després de rebre la confirmació de l'ordre de compra juntament amb documentació i dades adjuntes al producte. Un cop Frime S.A. rep el producte sol·licitat amb èxit, Balfegó S.L. genera una ID de l'enviament del peix que utilitzarà com a entrada clau en la transacció. Per altra banda, Frime S.A, un cop rebut l'enviament, utilitza la funció "*RebreEnviamentPeixFresc*", la qual notifica a totes les parts interessades de l'estat de la remesa. L'algoritme proposat en el present cas estudi, l'execució del qual dona lloc a l'efectuació del contracte intel·ligent tindria un codi similar a la **Taula 3**.

Un cop rebut el peix, Frime S.A. es dedica a processar aquesta tonyina i fer-la a lloms per posteriorment envasar-la. Un cop realitzat, Frime S.A. desplega el contracte smart referent a l'empresa processadora, i actualitzarà els detalls del procés en el contracte de processament del peix. En aquest procés, Frime utilitzarà la funció "*CrearIDEnvasPeixProcessat*", i crearà una nova i única ID. És important remarcar que el processat és l'etapa més crítica de la cadena ja que al retirar les marques de la pell i etiquetes, podria donar-se la possibilitat de frau i és per això que Frime haurà de pujar a IPFS (*i.e.*, sistema d'arxiu descentralitzat) documents com l'ICCAT i els informes dels resultats de PCR i guardar el hash (*i.e.*, funció criptogràfica que fa referència a un informe per exemple) dels informes i els documents a *blockchain*.

Ara, el minorista del prat de Llobregat vol fer una comanda a Frime S.A. de 8,14kg de llom de tonyina vermella envasada. Per fer-ho, aquest utilitza la funció "*RealitzarOrdreCompraPeixProcessat*". Aquesta funció produeix una notificació que arriba a totes les parts interessades i Frime respon a la funció confirmant-la (o rebutjant-la) amb la funció "*ConfirmarOrdreCompraPeixProcessat*". En aquest moment Frime iniciarà l'enviament de la comanda després de l'acceptació exitosa de l'ordre de compra. Un cop rebut, es procedirà a utilitzar la funció "*RebreEnviamentPeixProcessat*". Un cop el producte està disponible al mercat, el consumidor el compra però aquest ja no formarà part d'aquesta *blockchain* privada ja que el consumidor pot no sentir-se còmode compartint les dades de la seva compra en una plataforma pública, la qual pot comprometre la seva intimitat.

Taula 3. Algoritme amb un codi que permet l'execució d'un contracte smart per automatitzar la transacció de compra. El codi consta d'una entrada amb les dades dels implicats en el contracte i el producte i una sortida que amb diferents vies probables. El contracte inclou la funció "Keccak 256" que permet la creació d'una ID irreversible. S'ha inclòs el nom de les empreses per facilitar l'algoritme però haurien de ser substituïdes per l'adreça d'*Ethereum* única que es crea un cop fet el registre en el sistema *blockchain* per la FDA. (Adaptat de Patro et al., 2022)

Algoritme 1. Creant ordre de compra a Balfegó i rebent l'ordre

```
1.  Entrada: Frime S.A., Balfegó Tuna S.L., 545,60 kg, Thunnus thynnus
2.  Sortida:
    CrearOrdreCompraPeixFrescRealitzada
    CrearOrdreCompraPeixFrescConfirmada
    CrearOrdrePeixFrescRebuda  Activitats
3.  Si Demandant Funció ≠ Frime S.A. llavors
4.  |   La identitat de FrimeS.A. no és vàlida i la sol·licitud d'ordre de compra de
    |   Peix fresc és rebutjada.
5.  Fi
6.  Si no
7.  |   Si Demandant Funció = Frime S.A. llavors
8.  |   |   CrearIDOrdreCompraPeixFresc utilitzant
    |   |   Funció Keccak 256 amb els detalls: 545,60 kg, Thunnus thynnus.
9.  |   |   Canviar l'estat de l'ordre de compra del peix fresc a "pendent".
10. |   |   Enviar notificació a totes les parts implicades de la cadena concernint
    |   |     l'ordre de compra de peix fresc amb la ID de l'ordre de compra.
11. |   Fi
12. |   Si
13. |   Demandant Funció =. Balfegó Tuna S.L.
14. |   Accepta la sol·licitud d'ordre de compra de peix fresc i canvia l'estat a
    |   Acceptat
15. |   Si no
16. |   Canvia l'estat de la compra a Rebutjat
17. Fi
18. Si Demandant Funció = Frime S.A. llavors
19. |   EstatOrdrePeixFresc=Acceptat; "L'ordre no s'ha rebut encara"
20. |   EstatOrdrePeixFresc=Rebut; "L'ordre s'ha rebut"
21. Fi
22. Si no
23. |   Tornar el contracte al seu estat original ressaltant un missatge d'error
24. Fi
```

Per tal d'obtenir un registre dels esdeveniments que han tingut lloc en la cadena de subministrament, algunes parts de la qual s'han mencionat en el cas estudi, el consumidor pot veure els detalls de les transaccions a través de l'escaneig del codi QR mitjançant una aplicació descentralitzada. Això incrementa la confiança del consumidor envers l'aliment ja que suposa una font d'informació fiable i transparent del mar a la taula, alhora que garanteix el subministrament d'aliments segurs i sostenibles.

Amb tot, el que s'ha aconseguit amb l'execució del contracte *smart* és unificar tots els passos de la transacció en un, fent participar directament a ambdues empreses i notificant a totes les altres implicades en la cadena de subministrament. Addicionalment, la transacció ha quedat registrada de manera permanent i inalterable a la xarxa. Això suposaria un estalvi de temps substancial per les dues empreses alhora que facilitaria l'accés informació fiable per part del consumidor o entitats reguladores entre d'altres, el que suposa una transparència total dels processos i els beneficis que això implica.

Per últim, és important tenir en compte, que la FDA no està restringida a registrar només les parts interessades sinó també en assegurar el compliment normatiu dels estàndards en les operacions.

4. Conclusions

Segons la bibliografia consultada, la tecnologia *blockchain* té el potencial de solucionar els problemes que presenten les cadenes de subministrament complexes i fragmentades com és la de la tonyina al proporcionar un registre de traçabilitat transparent, immutable i descentralitzat.

A més, la implantació d'aquesta tecnologia permet l'increment d'efectivitat i eficiència de les transaccions per part de les empreses a la vegada que té el potencial de facilitar al consumidor l'accés a aliments segurs i sostenibles tant social com ambientalment que satisfan les necessitats creixents del comprador actual.

5. Bibliografia

Al-Farsi, S., Rathore, M. M., i Bakiras, S. (2021). Security of blockchain-based supply chain management systems: Challenges and opportunities. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(12). https://doi.org/10.3390/app11125585

Amaral, J. S. (2021). *Target and Non-Target Approaches for Food Authenticity and Traceability*. 1–6. https://doi.org/10.3390/foods10010172.

Auethavornpipat, R. (2021). *Translating sustainable fishing norms: the EU's external relations with Ghana*. 2593–2610. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01436597.2021.1958673

Boersma, M., & Nolan, J. (2020). Can Blockchain Help Resolve Modern Slavery in Supply Chains? *AIB Insights*, *20*(2), 1–5. https://doi.org/10.46697/001c.13542

Comisión de las comunidades europeas. (2000). Libro blanco sobre seguridad alimentaria. In *Optics InfoBase Conference Papers* (pp. 431–432).

Cook, B. (2018). Block chain: transforming the seafood supply chain. *WWF-New Zealand*, 1–41.

Creydt, M., & Fischer, M. (2019). Blockchain and more - Algorithm driven food traceability. *Food Control*, *105*(May), 45–51. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.019

EFSA. (2022). *2022 Joint Call for Proposals - More transparent agri-food systems for consumers and other stakeholders along the food value chain based on ICT technologies*. *862665*.

El economista. (2022). *Balfegó implanta un sistema de trazabilidad único para el atún rojo*. Agua y Medio Ambiente. https://revistas.eleconomista.es/agua/2022/septiembre/balfego-implanta-un-sistema-de-trazabilidad-unico-para-el-atun-rojo-MA11998949

Erol, I., Murat Ar, I., & Peker, I. (2022). Scrutinizing blockchain applicability in sustainable supply chains through an integrated fuzzy multi-criteria decision making framework. *Applied Soft Computing*, *116*, 108331. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108331

FAO. (2022). The state of world fisheries and aquaculture towards blue transformation. In *In Brief to The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. https://doi.org/10.4060/cc0463en

FDA. (2022a). *Requirements for Additional Traceability Records for Certain Foods*. https://www.federalregister.gov/documents/2022/11/21/2022-24417/requirements-for-additional-traceability-records-for-certain-foods

FDA. (2022b). *Tracking and Tracing of Food*. New Era of Smarter Food Safety. https://www.fda.gov/food/new-

era-smarter-food-safety/tracking-and-tracing-food

Fernandez Espinosa, L. (2017). *BBVA and Wave carry out the first blockchain-based international trade transaction between Europe and Latin America*. https://www.bbva.com/en/bbva-and-wave-carry-first-blockchain-based-international-trade-transaction-europe-and-latin-america/

Galvez, J. F., Mejuto, J. C., i Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, *107*, 222–232. https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011

Global dialogue on Seafood Treacebility. (2020). *Standards & Guidelines for Interoperable Seafood Traceability Systems — Core Normative Standards (Version 1 . 1)*. 46.

Global dialogue on Seafood Treacebility. (2022). *GDST Re-launches as a Permanent Independent Organization: Transformation Reflects Value and Broad Industry Support*.

Gopi, K., Mazumder, D., Sammut, J., i Saintilan, N. (2019). Determining the provenance and authenticity of seafood: A review of current methodologies. *Trends in Food Science and Technology*, *91*(May), 294–304. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.010

Howson, P. (2020). Building trust and equity in marine conservation and fisheries supply chain management with blockchain. *Marine Policy*, *115*(February), 103873. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103873

Jarka, S. (2019). Food Safety in the Supply Chain Using Blockchain Technology. *Acta Scientiarum Polonorum. Oeconomia*, *18*(4), 41–48. https://doi.org/10.22630/aspe.2019.18.4.43

Kamilaris, A., Fonts, A., i Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science and Technology*, *91*(May 2018), 640–652. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034

Kresna, B. A., Seminar, K. B., i Marimin. (2017). Developing a traceability system for tuna supply chains. *International Journal of Supply Chain Management*, *6*(3), 52–62.

Lin, X., Chang, S. C., Chou, T. H., Chen, S. C., i Ruangkanjanases, A. (2021). Consumers' intention to adopt blockchain food traceability technology towards organic food products. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(3), 1–19. https://doi.org/10.3390/ijerph18030912

Mafra, I., Ferreira, I., i Oliveira, M. (2008). Food authentication by PCR-based methods. *European Food Research and Technology*, *227*(3), 649–665. https://doi.org/10.1007/s00217-007-0782-x

McEntire, J., i Kennedy, A. W. (2019). *Food Traceability. From Binders to Blockchain*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-10902-8

Mearian, L. (2017). *Blockchain in the real world: 3 enterprise use cases*. https://www.computerworld.com/article/3243700/blockchain-in-the-real-world-3-enterprise-use-cases.html

Mims, C. (2013). *59% of the "Tuna" Americans Eat Is Not Tuna*. https://www.theatlantic.com/business/archive/2013/02/59-of-the-tuna-americans-eat-is-not-tuna/273410/

Mnatsakanyan, A. G., Kuzin, V. I., i Sergeev, L. I. (2021). Digitalization of fisheries enterprises management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *689*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/689/1/012014

Nakamoto. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *Transforming Government: People, Process and Policy*. https://doi.org/10.1108/TG-06-2020-0114

Nandi, M. L., Nandi, S., Moya, H., i Kaynak, H. (2020). Blockchain technology-enabled supply chain systems and supply chain performance: a resource-based view. *Supply Chain Management*, *25*(6), 841–862. https://doi.org/10.1108/SCM-12-2019-0444

Nolan, J., i Boersma, M. (2019). Adressing modern slavery. *UNSW Press*. https://doi.org/10.1080/23322705.2019.1693863

Patro, P. K., Jayaraman, R., Salah, K., i Yaqoob, I. (2022). Blockchain-Based Traceability for the Fishery

Supply Chain. *IEEE Access*, *10*(August), 81134–81154. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3196162

Prashar, D., Jha, N., Jha, S., Lee, Y., i Joshi, G. P. (2020). Blockchain-based traceability and visibility for agricultural products: A decentralizedway of ensuring food safety in India. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(8). https://doi.org/10.3390/SU12083497

Prieto, J., Partida, A., i Leitao, P. (2022). Blockchain and applications. 3rd International Congress. In *Lecture Notes in Networks and Systems: Vol. 320 LNNS*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86162-9_34

Qinghua, L., i Xiwei, X. (2017). Adaptable Blockchain- Based Systems. *IEEE Software*, *December*, 21–27. https://doi.org/10.1109/MS.2017.4121227

Ramsden, N. (2018). *FAO: State of world fisheries declining*. Undercurrentnews Seafood Business News and Data. https://www.undercurrentnews.com/2018/07/10/fao-state-of-worlds-fisheries-is-declining/

Roheim, C. A., Bush, S. R., Asche, F., Sanchirico, J. N., i Uchida, H. (2018). Evolution and future of the sustainable seafood market. *Nature Sustainability*, *1*(8), 392–398. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0115-z

Sahoo, S. K. (2017). *IBM, Maersk first for cross-border supply chain on blockchain*. https://www.voicendata.com/ibm-maersk-first-for-cross-border-supply-chain-on-blockchain/

Soesanto, D., i Prijambodo, B. (2022). *Food Fraud Prevention using a Blockchain-Based System:Case StudySlaughterhouse in Sidoarjo*. *6*(2), 295–304.

Sulkowski, A. J. (2018). Blockchain, Business Supply Chains, Sustainability, and Law: The Future of Governance, Legal Frameworks, and Lawyers? *SSRN Electronic Journal*, 303–346. https://doi.org/10.2139/ssrn.3262291

The Ocean conference. (2020). *Tuna 2020 Traceability Declaration. Stopping illegal tuna from coming to market*. 1–4.

Thorpe, A., Hermansen, O., Pollard, I., Isaksen, J., Failler, P., i Touron-Gardic, G. (2022). Unpacking the tuna traceability mosaic – EU SFPAs and the tuna value chain. *Marine Policy*, *139*(January 2020). https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105037

Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *14th International Conference on Services Systems and Services Management, ICSSSM 2017 - Proceedings*. https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119

Trace X techonologies. (2021). *Seafood companies diving into seafood traceability*. https://tracextech.com/seafood-companies-embracing-seafood-traceability/

Treiblmaier, H., i Garaus, M. (2022). Using blockchain to signal quality in the food supply chain: The impact on consumer purchase intentions and the moderating effect of brand familiarity. *International Journal of Information Management*, *68*(April 2022), 102514. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102514

Visser, C., i Hanich, Q. A. (2018). How blockchain is strengthening tuna traceability to combat illegal fishing. *The Conversation*, *January*, 1–4. https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://scholar.google.com/&httpsredir=1&article=4374&context=lhapapers

Wolfert, S. (2018). *Towards data-driven agri-food business*. https://www.slideshare.net/SjaakWolfert/towards-datadriven-agrifood-business

Wu, W., Zhang, A., van Klinken, R. D., Schrobback, P., i Muller, J. M. (2021). Consumer trust in food and the food system: A critical review. *Foods*, *10*(10), 1–15. https://doi.org/10.3390/foods10102490

Yao, Q., i Zhang, H. (2022). Improving Agricultural Product Traceability Using Blockchain. *Sensors*, *22*(9). https://doi.org/10.3390/s22093388

Yousefi, S., i Mohamadpour Tosarkani, B. (2022). An analytical approach for evaluating the impact of blockchain technology on sustainable supply chain performance. *International Journal of Production Economics*, *246*(May 2021), 108429. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108429